

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA
AGRONÓMICA Y DEL MEDIO NATURAL



**IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO
SOBRE LA CALIDAD DE LA UVA DE
LA VARIEDAD ‘BOBAL’ EN LA D.O.
UTIEL-REQUENA**

TRABAJO FIN DE MÁSTER EN ENOLOGÍA

CURSO ACADÉMICO:
2019-20

AUTOR:
Hipólito Soriano Benavent

TITULACIÓN:
Máster en Enología

TUTORES:
M^a Inmaculada Álvarez Cano
Juan Gabriel Pérez Pérez

Valencia, noviembre de 2020.

RESUMEN

El cambio climático a día de hoy es uno de los principales retos a los que se enfrenta la viticultura global. El aumento de la temperatura tiene una incidencia clara sobre el periodo vegetativo de la vid, adelantando todos sus estadios fenológicos, entre ellos la maduración, causando con ello en zonas cálidas un desequilibrio en la composición de la uva y repercutiendo en la calidad de los vinos. Por ello, se plantea un estudio en colaboración directa con la D.O. Utiel-Requena y el Instituto Valenciano de Investigación Agraria (IVIA) con el principal objetivo de: *i)* determinar las principales variaciones climáticas que se han producido en los últimos años en la demarcación geográfica de la D.O. Utiel-Requena, y *ii)* analizar cómo estos cambios en la climatología han afectado a los principales parámetros de calidad de la uva de la variedad tinta 'Bobal'. La tendencia al aumento de las temperaturas y a una reducción en las precipitaciones durante el ciclo de la vid afectará en una bajada en la acidez que impactará en la calidad del vino.

Palabras clave: cambio climático, temperaturas, precipitaciones, vid, bobal, vaso, secano, maduración uva, calidad uva

RESUM

El canvi climàtic hui en dia és un dels principals reptes als que s'enfronta la viticultura global. L'augment de la temperatura té una incidència clara sobre el període vegetatiu de la vinya, avançant tots els estadis fenològics, entre ells la maduració, ocasionant amb ells en zones càlides un desequilibri en la composició del raïm y repercutint en la qualitat dels vins. Per això, es planteja un estudi amb col·laboració directa amb la D.O. Utiel-Requena i l'Institut Valencià d'Investigacions Agràries (IVIA) amb el principal objectiu de: *i)* determinar les principals variacions climàtiques que s'han produït als últims anys en la demarcació geogràfica de la D.O. Utiel-Requena, i *ii)* analitzar com aquestos canvis en la climatologia han afectat als principals paràmetres de qualitat del raïm i de la varietat negra "Bobal". La tendència a l'augment de les temperatures i a una reducció en les precipitacions durant el cicle de la vinya afectarà en una baixada de l'acidesa que impactarà en la qualitat del vi.

Paraules clau: canvi climàtic, temperatures, precipitacions, vinya, bobal, got, secà, maduració raïm, qualitat raïm

ABSTRACT

Nowadays climate change is one of the main challenges that faces global viticulture. The increase in temperature has a clear impact on the vegetative period of the vine, advancing all its phenological stages, including maturation, thereby causing an imbalance in the composition of the grape in warm areas and affecting the quality of the wines. Therefore, a study is proposed in direct collaboration with the D.O. Utiel-Requena and the Valencian Institute of Agricultural Research (IVIA) with the main objective of: *i*) determining the main climatic variations that have occurred in recent years in the geographical demarcation of the D.O. Utiel-Requena, and *ii*) analyze how these changes in the weather have affected the main quality parameters of the red grape variety 'Bobal'. The tendency to increase temperatures and a reduction in rainfall during the vine cycle will affect a drop in acidity that will impact the quality of the wine.

Keywords: climate change, temperatures, rainfall, vine, bobal, gobelet, dry land, grape ripening, grape quality

A mis tutores Inma y Juan Gabriel, a todo el equipo de tecnología del riego IVIA, a Diego Pérez de la D.O. Utiel - Requena, mis padres y a mi pareja

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Importancia del vino en el mundo	1
1.1.1 Importancia del vino a nivel global	1
1.1.2 Importancia del vino a nivel nacional.....	2
1.1.3 Importancia del vino en la comunidad valenciana. D.O. Utiel-Requena.....	3
1.2 Necesidades climáticas de la vid	4
1.3 El cambio climático	5
1.4 Influencia del cambio climático en la viticultura y la enología	6
1.5. Estrategias vitivinícolas ante el cambio climático	9
2. OBJETIVOS	10
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	11
3.1 Descripción del área de estudio.....	11
3.2 Base de datos meteorológicos	11
3.3 Base de datos de maduración de la uva	14
3.4 Análisis de datos.....	15
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	16
4.1 Evolución climática de la demarcación geográfica Utiel-Requena 2002-2018.....	16
4.2 Evolución de los parámetros de calidad de la uva Bobal	17
5. CONCLUSIONES	21
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS O BIBLIOGRAFÍA	22
7. ANEXOS	29

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1. Superficie de viñedo en hectáreas por países (año 2016).	1
Figura 2. Cepa de Bobal.....	4
Figura 3. Hoja de Bobal (haz y envés)	4
Figura 4. Granos de Bobal	4
Figura 5. Racimo de Bobal.....	4
Figura 6. Detalle de las estaciones agroclimáticas utilizadas. La imagen de la izquierda pertenece a la estación de Campo Arcís y la de la derecha a Requena-Cerrito	12
Figura 7. Mapa general de la D.O. Utiel-Requena donde se ubican ambas estaciones agroclimáticas	13
Figura 8. Ejemplo de archivos de registro de controles de maduración en la D.O. Utiel-Requena. Años 1985 - 2001 (izquierda) y años 2002 - Actualidad (derecha)	14
Figura 9. Evolución de la temperatura media y las precipitaciones anuales (A y B), durante el ciclo de cultivo (C y D) y durante el periodo de maduración de la uva (E y F) a lo largo del ciclo histórico 2002-2018	16
Figura10. Evolución de los valores medios de los sólidos solubles totales, pH, acidez total y la relación entre sólidos solubles totales – acidez durante la serie histórica 1989 – 2018 ...	18
Figura 11. Correlación entre las variables del clima y la madurez de la uva durante el ciclo de cultivo de la vid (abril - septiembre) considerando los datos del periodo 2002 – 2018...	19
Figura 12. Superficie de viñedo en hectáreas por continentes (año 2016)1	29
Figura 13. Producción, consumo, exportaciones e importaciones de vino por continentes, valores en 1000 hL (año 2016)2	29
Figura 14. Producción, consumo, exportaciones e importaciones de vino por países (2016)3	30
Figura 15. Producción, consumo, exportaciones e importaciones de vino por países (2016)4	30
Figura 16. Producción, consumo, exportaciones e importaciones de vino por países (2016)5	31
Figura 17. Producción, consumo, exportaciones e importaciones de vino por países (2016)6	31
Figura 18. Producción, consumo, exportaciones e importaciones de vino por países (2016)7	32
Figura 19. Superficie de viñedo en hectáreas por comunidades autónomas (año 2016)8 ...	32
Figura 20. Producción y exportaciones de vino por comunidades autónomas (2016)9.....	33
Figura 21. Producción y exportaciones de vino por comunidades autónomas (2016)10	33
Figura 22. Producción y exportaciones de vino por comunidades autónomas (2016)11	33
Figura 23. Producción y exportaciones de vino por comunidades autónomas (2016)12	34

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1. Información sobre la ubicación de las estaciones seleccionadas y rango de datos utilizados para el estudio.	1
Tabla 2. Selección datos maduración de la uva	15

1. INTRODUCCIÓN

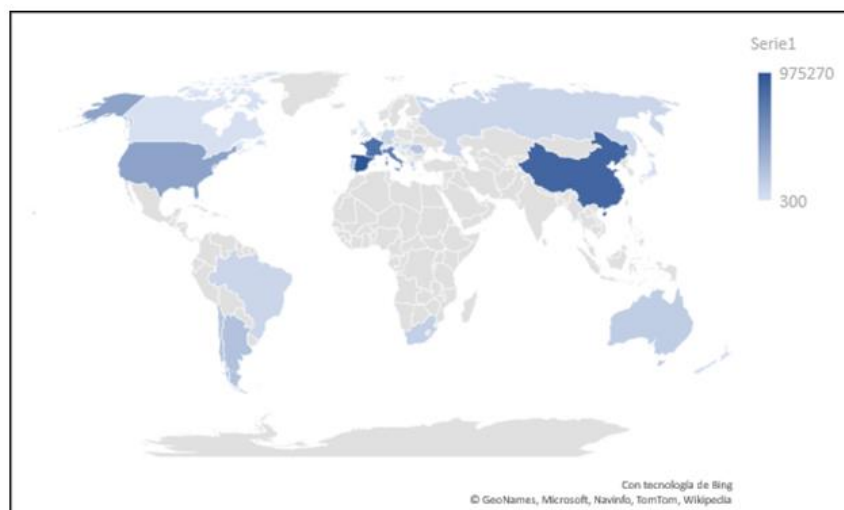
El principio de la viña y el vino, así como su lugar de procedencia, se pierde en tiempos de la Prehistoria. Las plantas originarias de la actual *Vitisvinifera* eran ya frecuentes en la Era Secundaria tanto en el continente Africano, Euroasiático como en el Americano. A pesar de ello, la elaboración del vino no se desarrolló hasta que hubo un avanzado estado de civilización ya que tanto las técnicas culturales de la vid y su elaboración surgieron a lo largo del tiempo.

1.1 Importancia del vino en el mundo

1.1.1 Importancia del vino a nivel global

El cultivo de la vid está ampliamente distribuido en el mundo, cultivándose en las regiones de clima mediterráneo y atlántico, siendo las zonas de clima templado, tipo mediterráneo, las mayores productoras. Actualmente, existen unas 4.000 variedades de uva en el mundo, de las cuales unas 400 se utilizan para vinificación.

Se destinan a este cultivo una de cada 130 hectáreas cultivadas en el mundo y en su comercio y manipulación intervienen un 1% de la población mundial. La superficie mundial destinada al viñedo fue en aumento desde principios de siglo hasta 1980, a partir de este momento se observa una disminución como consecuencia de políticas destinadas a primar el abandono definitivo del viñedo y realizar la reestructuración de éste. La reducción ha continuado, aunque más lentamente, hasta 1997, cuando se alcanzó una extensión cultivada de 7.717.000 hectáreas. Después de una pequeña recuperación seguida de varios descensos, el viñedo mundial alcanzó en el año 2018 una superficie total de 7.400.000 hectáreas, siendo ligeramente superior a la de 2016 y 2017. En la figura 1 se observa la superficie de viñedo en hectáreas en los principales países productores (OIV, 2019).



Alemania	102493	Bélgica	300	España	975270	Hungría	68422	Portugal	195284
Argentina	224258	Canadá	12627	E.E.U.U.	439214	Italia	692726	Reino Unido	411
Australia	145341	Chile	209038	Rusia	87600	Japón	18275	Rumanía	191356
Austria	46487	China	858176	Francia	786054	Luxemburgo	1256	Sudáfrica	129513
Brasil	86408	Croacia	25155	Grecia	105343	N. Zelanda	37969	Suiza	14780

Figura 1. Superficie de viñedo en hectáreas por países (año 2016)

Fuente: OIV. Elaboración propia

Respecto a la producción mundial de vino, ha seguido una tendencia en retroceso desde 1986 hasta 1995. Sin embargo, a partir de 1995 se constata un cambio en la tendencia, alcanzando en el año 2016 los 259.000.000 hectolitros, siendo 2018 un año récord con 292.300.000 hectolitros. El mayor aumento de la producción respecto a la superficie cultivada se debe a la utilización de moderna tecnología en los cultivos, que hace que mejore notablemente el rendimiento.

En relación al consumo, cabe señalar, que entre 1950 y 1980, su evolución acompañó a la de la producción, ya que en estos 30 años la producción casi se duplicó, y el consumo aumentó un 33%. El máximo consumo se alcanzó en el periodo 1976-80, y se mantuvo prácticamente constante en los 10 años siguientes, sufriendo un descenso considerable desde 1985 hasta el momento presente. Esta disminución afectó sobre todo a los vinos comunes, principalmente en los países del Este Europeo, antes grandes consumidores. En el resto del mundo se observa también esta tendencia, pero paralelamente se aprecia un incremento en el consumo de vinos de calidad. Aunque los grandes países productores son a su vez los mayores consumidores, el comercio internacional supera los 50 millones de hL, lo que representa casi un 20 % de la producción mundial. En Europa es donde se realiza la mayor parte del comercio mundial, correspondiendo el 80% a las exportaciones y el 70% a las importaciones. El sector vitivinícola se caracteriza a nivel mundial por un aumento importante de los excedentes de vino, estimados en casi 50 millones de hL, debido a un aumento del rendimiento medio y a una disminución de su consumo.

En cuanto a las exportaciones mundiales de vino, en lo que va de siglo, han crecido a un ritmo anual medio superior en términos de valor (+4,5%) que de volumen (+2,9%), ya que el precio medio ha pasado de 2,27 €/litro en el año 2000, a 3,07 euros en 2018.

En el Anexo (figuras 13 a 23) se recogen la producción, consumo, exportaciones e importaciones de vino por continentes, países y D.O. españolas, en el año 2016 (OIV, 2019).

1.1.2 Importancia del vino a nivel nacional

En España, el sector vitivinícola es una parte muy importante, no solo de su economía, sino también para su sociedad y su cultura. España cuenta con 952.829 hectáreas de viñedo (el 13% del total mundial), posicionándose en el primer puesto mundial. Respecto al total de la UE el viñedo español representa el 30% y con relación al total del mundo, el 15%. Por regiones, la que cuenta con una mayor superficie es Castilla-La Mancha (prácticamente el 49 % de todo el viñedo), seguida a mucha distancia por Extremadura (8,4%), Castilla y León (6,6%), la Comunidad Valenciana (6,5%), Cataluña (5,7%), Aragón (3,8%), Murcia (2,7%), La Rioja (5,4%), Andalucía (2,6%), Galicia (2,7%), Navarra (2%), Madrid (1,1%) y Canarias (0,8%).

Se cultivan unas 150 variedades autóctonas, junto con las más importantes variedades foráneas. Del total del viñedo, el 51% corresponde a uvas tintas y el resto son uvas blancas. Entre las variedades más cultivadas en España destaca la variedad blanca Airén, con el 22% de la superficie de viñedo total, seguida por la tinta Tempranillo con el 21% de la superficie.

En cuanto a la producción de vinos en España, hay una importante oscilación año tras año, correspondiendo 44,4 millones de hectolitros en 2018 y 37,2 millones de hectolitros en la cosecha de 2019, un 25% menos que el año anterior, posicionándose como tercer productor mundial, alcanzando el primer puesto en cuanto a volumen de vino exportado. Del total de la superficie española de viñedos, el 58% se dedica a la elaboración de vinos de calidad, amparados por alguna de las 96 Denominaciones de Origen Protegidas (DOP), repartidas entre las V.P. (26 Vinos de Pago), D.O. (67 Denominaciones de Origen), D.O.Ca. (2 Denominaciones de Origen Calificadas) y V.C. (8 Vinos de Calidad); o bien por alguna de las 42 IGP (Indicaciones Geográficas Protegidas).

1.1.3 Importancia del vino en la comunidad valenciana. D.O. Utiel-Requena

El cultivo de la vid en Valencia representa la principal fuente de riqueza para una importante parte de su población agrícola, ya que es el producto agrario más importante de la Comunidad, después de los cítricos, y es el que más superficie agraria ocupa. Su superficie de viñedo representa un 8,5% del total nacional, con una producción global de 610.567 toneladas de uva, de las cuales el 41% es uva de mesa, lo que la sitúa en una posición importante en España para este producto.

Los vinos de la Comunidad Valenciana se encuadran dentro de tres Denominaciones de Origen: Alicante, Valencia y Utiel-Requena. La comarca de Requena-Utiel se encuentra a 70 Kilómetros al interior de la provincia de Valencia. Allí se encuentra el viñedo más extenso y más homogéneo de la Comunidad Valenciana, con más de 40.000 hectáreas en los términos municipales de Caudete de las Fuentes, Camporrobles, Fuenterrobles, Requena, Siete Aguas, Sinarcas, Utiel, Venta del Moro y Villagordo de Cabriel (CRDO Utiel-Requena, 2016). La orografía de la comarca se caracteriza por una meseta circular de unos 1800 Kilómetros cuadrados de superficie, situada a una altitud entre 600-900 metros, que representa una pequeña parte de la gran unidad geomorfológica que constituye la submeseta Castellana meridional. Esta zona posee dos grandes fuentes de aprovisionamiento de agua, al Norte, el río Magro y al Sur, la Rambla Caballero, afluente del Cabriel. La Denominación de Origen Utiel-Requena tiene autorizadas 18 cultivares, 8 blancos y 10 tintos. Aunque la mayoría de la superficie este ocupada por los cultivares tintos, la superficie de los cultivares blancos poco a poco va tomando importancia, debido especialmente a la expansión en los últimos años de la producción de cava. Las variedades protegidas son: Bobal, Tempranillo o Cencibel, Garnacha, Cabernet Sauvignon, Merlot y Syrah para tintas, y Macabeo, Merseguera, Planta Nova o Tardana, Chardonnay y Sauvignon Blanc para blancas.

La variedad Bobal es la más extendida, ocupando un 75 % del total de los viñedos. Es una variedad altamente productiva, puede llegar a dar entre 60 y 70 hectolitros por hectárea asentada en suelos profundos y frescos. Por su gran resistencia y rusticidad, la Bobal se adapta perfectamente al rigor climático de la comarca. Aunque no está claro su origen, puede considerarse como variedad autóctona, pues fuera de Valencia apenas ocupa una mínima extensión en las zonas limítrofes de La Mancha, Murcia y Alicante. Se tiene constancia de su presencia en la región desde el siglo XV.

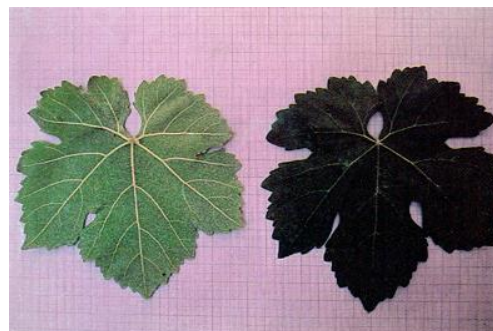
Es una cepa rústica que posee una fertilidad media-alta, si el terreno de cultivo no ha tenido viña anteriormente y media-baja si antes ha existido viña. Es bastante resistente a las enfermedades criptogámicas más importantes, siendo poco sensible a las de origen bacteriano. En cambio, es sensible a virosis, como el *“entrenudo corto”*, el *“enrollamiento”* y el *“jaspeado”*. Respecto a plagas, es bastante resistente a los insectos en general, debido principalmente a que la piel de sus granos es bastante dura, y que a las condiciones climatológicas de la zona de cultivo no favorecen la extensión de las plagas. De todas formas la más importante es la Polilla de Racimo *“Lobesiabrotana”*, aunque los daños en los cultivos son generalmente bajos. Su resistencia a la Filoxera *“Phylloxera vastatrix Planchon”*, es media alta. Al ser una variedad de brotación tardía suele ser bastante resistencia a las heladas, pero no a los fríos primaverales tardíos.

Su vigor es medio-alto, y soporte semi-erguido, con sarmientos largos, fuertes, ramificados, color marrón oscuro y diámetro medio, siendo algunos de ellos rastreros (figura 2). La hoja adulta es grande, pentalobulada, de color verde oscuro, sin brillo; con la superficie lisa, envés arañoso, y el peciolo corto, grueso y glabro (figura 3). Los granos son de tamaño medio,

irregulares, de forma discoide, coloración regular negro intenso, con pruina, piel gruesa, pulpa blanda, zumo incoloro. Posee gran cantidad de antocianos de la piel (figura 4). El racimo es de tamaño medio-grande, compacto, con hombros, con pedúnculos visibles, irregulares y que nacen a partir de la segunda yema (figura 5).



Figura 2. Cepa de Bobal



Hoja de Bobal (haz y envés)



Granos de Bobal

Figura 4. Granos de Bobal



Racimo de Bobal

Figura 5. Racimo de Bobal

Con la variedad Bobal se elaboran vinos rosados, tintos jóvenes y tintos con crianza. Los vinos rosados muestran una gran calidad olfativa (muy aromáticos, con aromas afrutados intensos y agradables) y gustativa (frescos, delicados y de alta permanencia en boca), su color es rosa con tonos violáceos, pálido y brillante. Los vinos tintos tienen una potente estructura y volumen, un color intensos y duradero, aroma a frutas rojas, regaliz y especias y una cierta dureza por su elevada acidez y comportamiento tánico. Destaca también su alto contenido en resveratrol.

1.2 Necesidades climáticas de la vid

El clima y los factores climáticos (temperatura, pluviometría y radiación solar, diferencias de temperatura entre el día y la noche, etc.) influyen en el desarrollo y rendimiento del viñedo, así como en la composición del grano de uva, y por tanto en la calidad de la uva y de los vinos obtenidos (Van Leenwen *et al.*, 2016; Bonfante *et al.*, 2017). La vid tolera un amplio rango de temperaturas, pero las exigencias para la obtención de uva de calidad son muy concretas, siendo la temperatura, la pluviometría y la iluminación los factores determinantes.

Con respecto a la temperatura, la vid es una planta sensible a heladas, que necesita calor para su desarrollo y para la maduración de la uva (Carbonell-Bejerano *et al.*, 2014; Sgubin *et al.*, 2018). La temperatura durante el periodo activo de vegetación es un aspecto crítico ya que

condiciona la madurez y la capacidad de acumular azúcares, ácidos y aromas (Jones et al., 2005; Armas, 2014; Santos *et al.*, 2017; Brandt *et al.*, 2018; Santos *et al.*, 2018). La vid necesita entre 2.900 a 3.100 °C de acumulación de calor, debido a lo cual las áreas de cultivo mundiales están delimitadas entre los paralelos 30° y 50° de latitud Norte y 30° y 40° de latitud Sur, encontrándose diferencias entre las distintas variedades de uvas. También son muy importantes las diferencias de temperatura entre el día y la noche, influyendo especialmente en la concentración polifenólica de las uvas y en la formación de compuestos aromáticos (Fregoni y Pezzutto, 2000; Tonietto y Carbonneau, 2004; Webbet *et al.*, 2012; Armas, 2014).

La vid es una planta que resiste bien la sequía. Tiene unas necesidades de agua anuales sobre 500-600 mm, pero el reparto de las lluvias a lo largo del ciclo vegetativo es más importante que la cantidad total anual. Sus máximas necesidades de agua se encuentran en los estados fenológicos de floración y envero. En el periodo herbáceo la planta tiene que tener una disponibilidad de agua suficiente para poder completar correctamente este desarrollo. A partir del envero también debe disponer de agua para poder transportar y acumular compuestos en la baya. En cambio, en la maduración es conveniente que la planta sufra un pequeño estrés hídrico, siempre y cuando no afecte a la actividad fisiológica de la vid, promoviendo así el aumento de concentración de compuestos aromáticos y polifenólicos. El exceso de pluviometría y humedad ocasiona la proliferación de las enfermedades fúngicas como la *Botritis* y el *Mildiu* (Molitor *et al.*, 2016), ocasionando retraso de la madurez, disminución de azúcares, aumento de ácidos y menor cantidad de polifenoles.

Con respecto a la insolación, las necesidades de horas sol de la vid son muy altas, necesitando entre 1.500 y 1.600 horas sol para su correcto desarrollo, y de estas, 1.200 corresponden al periodo vegetativo. Cuanto mayor sea la insolación en este periodo, mayor será el grado de madurez alcanzado por las uvas. La insolación directa sobre las yemas contribuye a la inducción y diferenciación floral, y por lo tanto a un mayor aumento del rendimiento.

Estos condicionantes no solo dependen de la latitud donde se encuentre el viñedo, sino también de la orientación del viñedo, la pendiente y de las diferentes técnicas de cultivo que se utilicen, por lo que es un factor que se puede modificar y controlar (Salazar et al., 2005).

1.3 El cambio climático

Se llama cambio climático a la variación del clima de la Tierra, ocasionado por alteraciones del clima que se manifiestan por cambios en el medio ambiente, que modifican sus características. Estos cambios se han producido debido a causas naturales a lo largo de la historia del planeta, pero durante el último siglo el hombre ha generado una gran cantidad de gases de efecto invernadero (carbono, metano y óxido nitroso), a los que se le atribuyen los importantes cambios que se están observando.

El efecto invernadero es indispensable para la vida en la Tierra, ya que si no existiera la temperatura media de la Tierra sería de -18°C y no de 15°C. Los gases atmosféricos absorben la radiación térmica emitida por el planeta y esta es irradiada en todas direcciones, reduciendo así la energía que es reflejada al espacio. En 1988, tras los indicios de que el cambio climático suponía un peligro real, se creó el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC), constituido por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Organización Meteorológica Mundial (OMN), con la finalidad de proporcionar información sobre el cambio climático.

Las emisiones están provocando que la temperatura del planeta aumente, al incrementar su concentración en la atmósfera. El porcentaje de radiación reflejada al espacio es menor,

provocando que permanezca en el planeta y como consecuencia la temperatura terrestre sea mayor. Esta variación térmica se está produciendo a una velocidad demasiado elevada para que los ecosistemas puedan adaptarse correctamente. Su impacto potencial es muy grande, previniéndose una falta de agua, grandes consecuencias en la producción de alimentos y un aumento de factores climáticos extremos como inundaciones y sequías.

El cambio climático además de ser un problema medioambiental, puede tener consecuencias económicas y sociales. Entre 1750 y 2015, las emisiones mundiales totales han alcanzado el equivalente a 2.585.000 millones de toneladas de CO₂, siendo EE. UU. y China los países con más emisiones totales (superando individualmente a todo el conjunto de países de la Unión Europea), no resultando efectivos sus planes de reducción de gases de efecto invernadero, ya que según un informe de la Secretaría de la Convención Marco de la ONU, los actuales planes de de estos países llevarían a un aumento temperatura de 2,7°C en los próximos años (Ribera y Olabe, 2015). Como consecuencia de las emisiones, la temperatura de la atmósfera se ha incrementado 0,85°C desde 1880, siendo en las últimas décadas cuanto mayor ha sido el aumento. Con el acuerdo de la cumbre del clima en París (diciembre de 2015), 196 países se comprometieron a mantener la temperatura media del planeta por debajo de 2°C a finales de siglo, y de hacer un esfuerzo por evitar que sobrepase los 1,5°C.

1.4 Influencia del cambio climático en la viticultura y la enología

El cambio climático está ejerciendo una influencia cada vez mayor sobre la fenología. Las modificaciones que se están observando en la climatología afectan en general a la distribución de la vegetación natural, puesto que la radiación solar, el agua y la temperatura controlan el crecimiento y la reproducción de las plantas (Ewert *et al.*, 2005). Además, el cambio climático implica una modificación de factores clave: salinización, sequía, inundaciones, deterioro de la calidad del agua y erosión del suelo, que muchas veces tienen importantes consecuencias sobre la producción (Rosenzweig *et al.*, 2002; Blanco-Cipellone *et al.*, 2017).

En el viñedo, el clima es el factor más determinante en la producción vitivinícola debido a su influencia en la fisiología de la vid a través de la temperatura, la lluvia, evapotranspiración potencial, horas de sol y viento (Riouet *et al.*, 1994; Santos *et al.*, 2018); cualquier modificación de las condiciones climáticas puede alterar el equilibrio entre el suelo y la planta (Sotés, 2012). El clima de una zona determina el potencial productivo de la viña y las características del vino obtenido, especialmente su tipicidad, por el efecto en el desarrollo de los procesos de maduración y adaptación del ciclo de las distintas variedades (Carbonell-Bejerano *et al.*, 2014). Numerosos estudios sobre el clima muestran que las modificaciones observadas en estos últimos años van a continuar en el futuro, lo que ocasionará modificaciones no sólo en la fenología de la vid, sino también en los patrones de enfermedades y plagas, en el potencial de maduración, en el rendimiento de la vid y en la calidad la uva y del vino (Bindiet *et al.*, 1996; Schultz, 2000; Jones *et al.*, 2005; Santos *et al.*, 2012; Sotés, 2014; Bonfante *et al.*, 2017).

Un efecto directo del incremento de la temperatura sobre la vid es la tendencia hacia inviernos más suaves, que favorecen el desarrollo de enfermedades y plagas (Resco, 2015), y veranos más calurosos y secos que podrían disminuir las enfermedades fúngicas y plagas cuya población se ve reducida con las altas temperaturas. Es interesante destacar la disminución de las heladas, con lo que el rendimiento puede verse mejorado, y la disminución de las precipitaciones, lluvias torrenciales o inundaciones, dando lugar a otros problemas como la erosión del suelo (Mastrandrea, 2014; Resco, 2015). El manejo del suelo y el desarrollo de

cubiertas vegetales o laboreos mínimos son técnicas adecuados para evitar erosión ante lluvias fuertes (Kroodsma y Field, 2006; Judit *et al.*, 2011).

Como consecuencia del aumento de temperatura y disminución de la lluvia en las últimas décadas en las regiones más cálidas y secas, ha aumentado la evapotranspiración, limitando más aún la disponibilidad y calidad del agua (Moreno Rodríguez, 2005). En esta situación es preciso realizar un aporte de agua a la planta, que estaría condicionado a la disponibilidad de agua en la zona. Debido a ello, el riego deberá establecerse con métodos y controles para disminuir el consumo de agua (García *et al.*, 2012; Ramos *et al.*, 2017; Koech *et al.*, 2018; Fraga *et al.*, 2018), e incluso incorporar agua de riego con cierta salinidad, aunque la calidad del vino puede verse afectada por la aparición de características negativas relacionados con altas concentraciones de Na, K y Cl (Walker *et al.*, 2003). El aumento de los incendios también está producido por el descenso de las precipitaciones y el aumento de las temperaturas, influyendo éstos en la presencia de olores indeseables a quemado y a ceniza (Kennison *et al.*, 2007; Howell, 2008, 2009; Orduña, 2010).

Por otro lado, la concentración atmosférica de CO₂ ha aumentado notablemente en el último siglo, siendo este gas el principal causante del efecto invernadero. El carbónico es un compuesto que interviene en el proceso metabólico de las plantas, por ello un cambio en la concentración atmosférica influye en el desarrollo y crecimiento de la vid, así como en el rendimiento y composición del grano de uva (Gonçalves *et al.*, 2009; Moutinho-Pereira *et al.*, 2009; Kilmiseret *et al.*, 2016; Edwards *et al.*, 2017; Wohlfahrt *et al.*, 2018, 2019).

Numerosos estudios han puesto de manifiesto la influencia del cambio climático en el adelanto de la fecha de la vendimia (Orduña, 2010; Nemani *et al.*, 2001; Hidalgo, 2005; Orduña, 2010; Loira, 2014). Jones *et al.* (2005) pusieron de manifiesto la relación existente entre el calentamiento global y el viñedo en Europa, con el análisis de los datos históricos de los últimos 30– 50 años, observando un adelanto de la fenología de la vid entre 6 y 25 días, variando según la localización del viñedo y la variedad. Con la modificación de la temperatura, las regiones con unas características idóneas para el desarrollo y cultivo de la vid pueden verse desplazadas hacia latitudes más altas (Malheiro *et al.*, 2010; Hannah, 2013; Leolini ; Leoliniet *et al.*, 2018), y otras zonas podrían permitir la adaptación de variedades tintas nunca cultivadas (Jones *et al.*, 2005; Toth *et al.*, 2016). En contrapartida, otras zonas, que en la actualidad son regiones vitivinícolas, podrían verse afectadas y no ser aptas para el cultivo de la vid en un futuro si no se controlan los fenómenos asociados al cambio climático. Las zonas más perjudicadas serían Australia, la cuenca mediterránea, California y Sudáfrica.

El cambio climático está ejerciendo una influencia cada vez mayor sobre la composición de la uva, afectando también al comportamiento de las vinificaciones, a la química y microbiología enológica, así como a las características organolépticas de los vinos. Los efectos que la temperatura, el carbónico y la radiación solar tienen sobre la maduración de la uva dando origen a vendimias anticipadas, con las consiguientes modificaciones en la composición del grano de uva, son aspectos que influyen en las características del vino a elaborar.

Los principales problemas que se agravan con el cambio climático durante la vinificación son la aceleración de las reacciones químicas y biológicas, tales como la oxidación de la uva y el mosto, los deterioros por microorganismos, las maceraciones incontroladas y las fermentaciones alcohólicas indeseables. Todos estos fenómenos están relacionados con el aumento de temperatura en la vendimia y con su estado sanitario. Las altas temperaturas en la vendimia, la deshidratación de la uva provocada por las sequías y el estrés por calor hacen que

la uva esté más estropeada de lo habitual, produciéndose así un rápido crecimiento de los microorganismos y un aumento de los procesos oxidativos.

Los problemas generados por el aumento de azúcares y del pH de las uvas, junto con la disminución de la acidez, son aspectos muy importantes derivados del cambio climático (Leolini *et al.*, 2019). Como consecuencia de temperaturas superiores a los 30°C, la concentración de sólidos puede aumentar hasta niveles de 24-25 °Brix (Keller, 2010). La alta concentración de azúcares genera mucho etanos que hace los vinos muy alcohólicos y produce una elevada presión osmótica sobre las levaduras, dificultando su proceso metabólico, dificultando el final de fermentación, al ser un compuesto tóxico en concentraciones altas. Pigeau (2006) encontró que con alta concentración de solutos en el mosto aumenta la cantidad de glicerol y ácido acético, generados por la levadura a causa del estrés osmótico.

Con respecto a los ácidos de la uva, el ácido tartárico es relativamente estable a la temperatura pero el málico es muy dependiente durante la maduración, disminuyendo su concentración conforme se eleva la temperatura. También se ha demostrado, que los niveles de ácido málico disminuyen por causa del estrés hídrico de la planta (Chaves *et al.*, 2010; Egunez, 2015). Además, el aumento de la cantidad de potasio en la uva, cuya acumulación también está relacionada directamente con la temperatura y la fertilización, afecta a la formación y precipitación de bitartrato potásico, con la consiguiente pérdida de acidez.

Las altas temperaturas también producen la disminución de la síntesis de antocianos (Tarara *et al.*, 2008; Lago-Vancelac *et al.*, 2014). En climas cálidos, con frecuencia se pueden alcanzar las temperaturas que inhiben su formación, y por lo tanto se produce una reducción del color de la uva (Downey *et al.*, 2006). La síntesis de antocianos durante el día es mayor a una temperatura de 20°C que a una de 30°C, y durante la noche, es mayor su producción a 15-20°C que a 20-25°C. En la formación de antocianos las diferencias térmicas son de gran importancia dentro de los rangos térmicos de síntesis, como demostró Cohen *et al.* (2008) en un estudio realizado con la variedad Merlot. La producción de taninos condensados o proantocianidinas y el aumento del número de semillas, que intervienen en la astringencia del vino, tienen una asociación directa con la temperatura, aumentando en los climas más cálidos (Del Rio and Kennedy, 2006; Orduña, 2010; Conde *et al.*, 2016).

La formación de los compuestos aromáticos del vino también depende de la temperatura (Robinson *et al.*, 2014; Gutierrez-Gamboa *et al.*, 2019). La acumulación de aromas en vinos blancos es más favorable en climas fríos (Duchêne and Schneider, 2005). Las temperaturas más bajas dan lugar a compuestos como isoprenoides y pirazinas, los cuales dan aromas frutales, florales, vegetales y picantes. En cambio, a mayor temperatura se forman más compuestos norisoprenoides, que aportan aromas florales, fruta exótica, té, tabaco, etc. La hidrólisis de ésteres también se acelera con el aumento de la temperatura y del pH (Robinson *et al.* 2010; Orduña, 2010), así como la degradación de compuestos volátiles (Recamales *et al.*, 2011). También el aumento de la concentración de CO₂ en la atmósfera puede influir en la formación de aromas secundarios de fermentación (Goncalves *et al.*, 2009).

Los efectos del cambio climático descritos influyen negativamente en la calidad del vino, modificando las reacciones químicas que se producen, y como consecuencia sus características organolépticas, afectando al color, sabor y aroma del vino (Jones *et al.*, 2008; Orduña, 2010; King *et al.*, 2013; García, 2014). El aumento de contenido alcohólico modifica la percepción y el sabor de los vinos, disminuyendo la percepción del color (Hermosin Gutiérrez, 2003), la percepción aromática y la volatilidad de los compuestos (Athes *et al.*, 2004; Escudero *et al.*, 2007; Goldner *et al.*, 2009). En la fase gustativa, el etanol interviene potenciando la sensación

de amargor y de dulzor del vino, y reduciendo la percepción de la acidez y de la astringencia, pero también aportando notas metálicas (Jones *et al.*, 2008) y causticidad (King *et al.*, 2013).

1.5. Estrategias vitivinícolas ante el cambio climático

Actualmente el sector del vino se está adaptando a las nuevas situaciones climáticas, que son un reto para la supervivencia de los viñedos y que requieren cambios y adaptaciones en el manejo del viñedo y en la enología para poder afrontar los nuevos retos que nos depara el futuro ante el cambio climático. La Organización Internacional de la Viña y el Vino (OIV, 2019) ha incluido esta preocupación en su plan estratégico, valorando en los distintos estados vitivinícolas su influencia sobre el territorio (gestión del agua y de los paisajes), sobre las zonas de producción, variedades y patrones, fisiología y maduración de la uva, fenología, composición de los racimos, plagas y enfermedades y sobre la tipicidad de los vinos.

Los trabajos de adaptación de la viticultura al cambio climático deben enfocarse a las funciones de producción, como el cambio de modelos de cultivos (Mendelsohn, 2007; Parra *et al.*, 2010; Malheiro *et al.*, 2010; Nicolas y Durham 2012; Lereboullet *et al.*, 2013; Dum *et al.*, 2015; Lazoflonet *et al.*, 2017) o el estudio de la zonificación vitícola (White *et al.*, 2006; Santos *et al.*, 2012; Moriando *et al.*, 2013; Fraga *et al.*, 2015; Neethling *et al.*, 2019), resaltando la importancia de los índices agroclimáticos para ayudar en la correcta elección de la variedad para cada zona (Bois *et al.*, 2008; Eccel *et al.*, 2016; Junk *et al.*, 2019).

Entre los índices más usados destaca el índice de Winkler (Winkler *et al.*, 1974) y el de Huglin (Huglin, 1978), que junto con la temperatura del aire en el periodo de maduración (Jackson y Lombard, 1993; Molitor *et al.*, 2019) y el frescor de las noches (Fregoni y Pezzutto, 2000; Tonietto y Carbonneau, 2004) tienen gran influencias en la maduración, incluyendo aromas y color. Estos índices permiten estimar la idoneidad de ciertas variedades y definir cambios en el *terroir* (Carbonneau, 2003; Seguin y de Cortazar, 2005; Jones *et al.*, 2010; Costa, 2019). La importancia de la disponibilidad de agua para la calidad se ve reflejada con un índice específico de potencial hídrico de los suelos para la vid (Riou *et al.*, 1994; Seguin, 1983; Mérouge *et al.*, 1998; Carbonneau, 1998), que permite delimitar regiones según la disponibilidad de agua. Las necesidades de adaptación en cada región dependerán de la magnitud de estos potenciales impactos y en la capacidad de enfrentarse a estos cambios (Jones 2012; Smit y Wandel, 2006), requiriendo la implementación de estrategias de adaptación adecuadas y rentables, que deben planificarse y ajustarse a las condiciones locales para una reducción efectiva del riesgo (Santos *et al.*, 2020).

Las respuestas de adaptación frente al Cambio Climático en vitivinicultura pueden variar desde aquellas que se pongan en marcha a nivel de bodega, que son más sencillas, económicas e inmediatas, pero que proporcionan un bajo potencial de adaptación; o aquellas a nivel del viñedo, que pueden resultar más caras y pueden llegar a plantear más dificultades, pero que a la vez tienen un potencial de adaptación más alto (Nicholas y Durham 2012; Fraga *et al.*, 2016; Bonfante *et al.*, 2018). Los sistemas de formación y poda (Bergvist *et al.*, 2001), el sistema de riego (Ramos *et al.*, 2017) o el tipo de laboreo, las medidas infraestructurales como las inversiones en regadío, cambio de localización del cultivo, mallas de sombreo o la instalación de energías renovables, son importantes herramientas que pueden ayudar a una mejor adaptación. La capacidad que tenga el sector para adoptar las estrategias que más se adapte a las necesidades de una región o explotación, estableciendo prioridades en función de las disparidades regionales identificadas, determinará su vulnerabilidad (Iglesias *et al.*, 2009; Neethling *et al.*, 2016; Ollat *et al.*, 2016).

2. OBJETIVOS

Se plantea un estudio en colaboración directa con la D.O. Utiel-Requena y el Instituto Valenciano de Investigación Agraria (IVIA) con el principal objetivo de: *i*) determinar las principales variaciones climáticas que se han producido en los últimos años en la demarcación geográfica de la D.O. Utiel-Requena, y *ii*) analizar cómo estos cambios en la climatología han afectado a los principales parámetros de calidad de la uva de la variedad tinta 'Bobal'.

Para cumplir con este objetivo general se definen los siguientes objetivos específicos:

- Determinar la variación espacio-temporal de las principales variables climatológicas (temperaturas y precipitaciones)
- Determinar la variación espacio-temporal de los principales parámetros de calidad de la uva (sólidos solubles totales, pH y acidez)
- Estudiar la relación de los parámetros de calidad de la uva con las variables climatológicas

3. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se encuadra dentro de la demarcación geográfica de la Denominación de Origen Utiel-Requena. A continuación, se explica la procedencia de los datos con los que se realiza el estudio del efecto del clima sobre la maduración de la uva.

3.1 Descripción del área de estudio

La D.O. Utiel-Requena es una denominación de origen de vinos de España procedentes de la comarca Utiel-Requena situada en la zona oeste de la provincia de Valencia. Designada en 1932, la zona de producción está compuesta por 9 municipios: Camporrobles, Caudete de las Fuentes, Fuenterrobles, Siete Aguas, Sinarcas, Utiel, Requena, Venta del Moro, y Villargordo del Cabriel, teniendo la sede del Consejo Regulador en la ciudad de Utiel, en el edificio emblemático de la Bodega Redonda. Regada por el Río Magro y el Río Caballero, tiene una extensión de 40.942 Ha y cuenta con unas 7.000 familias y más de 100 bodegas inscritas. Por este motivo, el vino es el principal motor de la economía de esta zona.

Utiel-Requena goza de una identidad geográfica homogénea -está asentada sobre una meseta de 45 kilómetros de diámetro- y unos rasgos climáticos comunes. Comprende más de 1.800 km², con una altitud media sobre el mar de 700 metros. En la zona regada por el río Magro predominan los suelos aluviales y en el otro lado de la Sierra de Torrubia predominan los suelos arcillosos. El clima es continental con influencia mediterránea, la temperatura media anual es de 14 grados, con una amplitud térmica anual de más de 17°C, esta ancha franja térmica da por sí sola los rasgos de continentalidad característicos del clima de Utiel-Requena. El mes más cálido es julio, con 23,2 °C y la media es de 6°C en el mes de diciembre. Los inviernos son fríos y largos. El verano es relativamente corto y a veces el viento de poniente aumenta la temperatura. El otoño es corto y las temperaturas sufren un acusado descenso. Las precipitaciones son de 484 mm al año.

3.2 Base de datos meteorológicos

Las series de datos meteorológicos utilizados en este trabajo proceden de la red de estaciones meteorológicas del IVIA (<http://riegos.ivia.es>). Aunque actualmente en la zona de Utiel-Requena se dispone de un mayor número de estaciones, incluyendo las estaciones de la red AVAMET, solo se han considerado las estaciones climáticas de Campo Arcís y de Requena-Cerrito. Esto se debe a que son las únicas que disponen datos de al menos 20 años, y además están georeferenciadas (altitud, longitud y latitud) (Tabla 1). Las dos estaciones a las que se hace referencia, son las situadas en las inmediaciones de la pedanía de Campo Arcís y la otra en una finca de viñedo particular llamada “El Cerrito”, en la carretera de Utiel-Los Isidros (CV-460), a la altura del km 7 (Figura 6). Las variables climáticas que se han seleccionado para el estudio han sido la temperatura media diaria, expresada en grados Celsius (°C) y la precipitación diaria, expresada en mm.

Tabla 1. Información sobre la ubicación de las estaciones seleccionadas y rango de datos utilizados para el estudio

ESTACIÓN	ALTITUD	X UTM	Y UTM	VARIABLES ESTUDIO	SERIES HISTÓRICAS ESTUDIO
Campo Arcís	591	657944	4366606	Temperaturas medias (°C)	2002-2018 (Tendencia del clima y correlación del clima con la maduración)
Requena Cerrito	748	651972	4374274	Precipitaciones totales acumuladas (mm)	Anual (enero - diciembre) Ciclo de cultivo (abril - septiembre) Maduración de la uva (agosto - septiembre)

Fuente: IVIA. Elaboración propia



Figura 6. Detalle de las estaciones agroclimáticas utilizadas. La imagen de la izquierda pertenece a la estación de Campo Arcís y la de la derecha a Requena-Cerrito

Fuente: <http://riegos.ivia.es/listado-de-estaciones/campo-arcis>

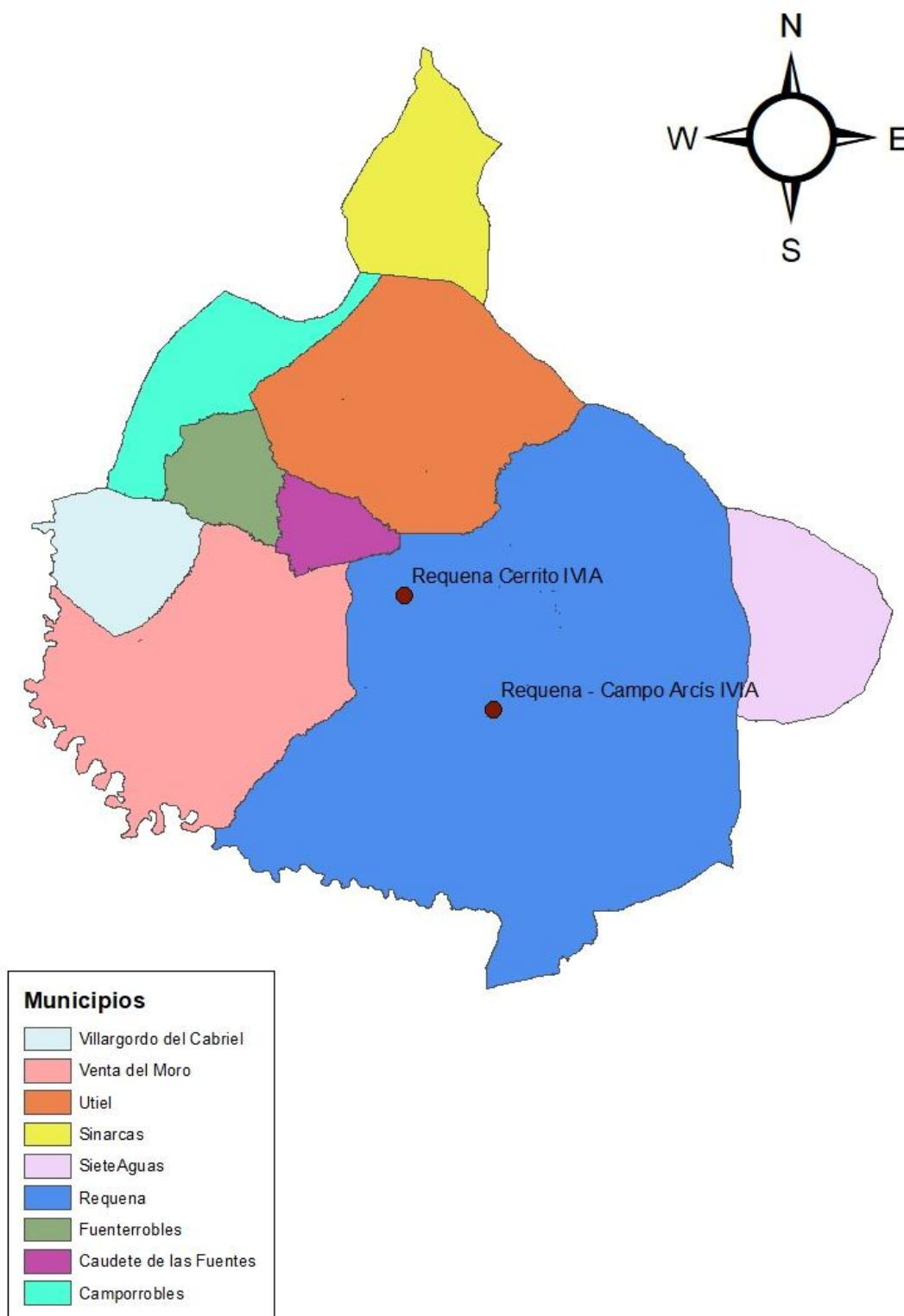


Figura 7. Mapa general de la D.O. Utiel-Requena donde se ubican ambas estaciones agroclimáticas

Fuente: IVIA

3.3 Base de datos de maduración de la uva

La serie histórica de datos de maduración de la uva de la variedad ‘Bobal’, utilizada en este trabajo, ha sido cedida por el Consejo Regulador de la D.O. Utiel-Requena. Esta base de datos se basa en la información que se obtiene de los controles que realizan los técnicos de la DO-UR para el control de la maduración de la uva. Cada año en la D.O. Utiel-Requena se realizan varios controles de maduración a lo largo de todo el territorio de la D.O. en varias fechas para poder seguir la evolución de la maduración de la uva, y así poder anticiparse a los acontecimientos que surjan hasta determinar la fecha de vendimia, sirviendo como referencia a los viticultores y bodegas. Como se puede observar en la figura 8, los datos comprendidos entre 1985 hasta el 2001 se encontraban en papel y no estaban digitalizados. Aprovechando este estudio se transcribieron al formato actual en una base de datos digitalizada para que puedan ser utilizados tanto actualmente como para futuros estudios.

4º CONTROL DE MADURACIÓN 15 DE SEPTIEMBRE DE 2010														
Nº	ZONA	LOCALIDAD	TERMINO MUNICIPAL	UBICACIÓN	ALTITUD	VARIEDAD	BLANCA/ TINTA	VASO/ ESPALDERA	SECAÑO/ RIEGO	SÓLIDOS SOLUBLES TOTALES (º Baumé)	pH	ACIDEZ TOTAL (g/L de ácido tartárico)		
2	Baja	El Pabellón	Requena	Estación Servicio	725	Bobal	Tinta	Vaso	Secano	10,30	3,49	8,85		
4	Baja	Requena	Requena	Ctra Chera Km1	770	Bobal	Tinta	Vaso	Secano	12,30	3,56	7,43		
11	Baja	Induro-Casas	Vera del Moro	Casas Huerta	835	Bobal	Tinta	Vaso	Secano	9,95	3,75	5,68		
12	Baja	V. del Moro	Vera del Moro	Dirrec. Casas Moya Km10	756	Bobal	Tinta	Vaso	Secano	8,00	3,58	9,14		
20	Baja	Roma	Requena	Ctra Vega	685	Bobal	Tinta	Vaso	Secano	11,40	3,65	7,56		
21	Baja	S. Antonio S. Juan	Requena	Ribonda	687	Bobal	Tinta	Vaso	Secano	10,40	3,56	6,12		
25	Baja	S. Antonio	Requena	Vareña	725	Bobal	Tinta	Vaso	Secano	11,80	3,52	6,25		
26	Alta	Casas de Utiel	Utiel	Cameroso	804	Bobal	Tinta	Vaso	Secano	10,20	3,52	7,05		
34	Alta	Cuervo Utiel	Utiel	Cruce Ctra Sinarco	787	Bobal	Tinta	Vaso	Secano	11,10	3,58	8,57		
38	Alta	Camposol	Camposol	Ctra Fuertembles Km10	830	Bobal	Tinta	Vaso	Secano	9,70	3,43	10,56		
43	Alta	Jarquas	Jarquas	Ctra Jarquas a V. del Moro	799	Bobal	Tinta	Vaso	Secano	8,35	3,57	8,56		
44	Alta	Caudale de las Fuentes	Caudale de las Fuentes	Las Marañones	840	Bobal	Tinta	Vaso	Secano	9,95	3,60	9,20		
45	Alta	Utiel	Utiel	Las Vides	788	Bobal	Tinta	Vaso	Secano	11,20	3,53	7,28		

Figura 8. Ejemplo de archivos de registro de controles de maduración en la D.O. Utiel-Requena. Años 1985 - 2001 (izquierda) y años 2002 - Actualidad (derecha)

En la base de datos cuenta con información de numerosas parcelas distribuidas por todo el territorio de la D.O. En este caso, se han seleccionado solo las parcelas de la variedad Bobal en sistema de cultivo tradicional en vaso y en secano, con el fin de poder aislar al máximo al cultivo de las prácticas agronómicas actuales, como el sistema de espaldera o la aplicación de riego. En la tabla 2 se puede consultar de forma resumida esta información y otros detalles como las coordenadas de los puntos de control repartidos por toda la D.O. que se emplearon para este estudio. De todas las fechas de control que realizan los técnicos, se han seleccionado los análisis realizados alrededor del 15 de septiembre de cada año por ser un punto de referencia para el inicio de la vendimia. Teniendo en cuenta esto, de todas las parcelas que cumplen los criterios antes definidos, se han seleccionado solo las parcelas que poseen datos históricos durante todo el ciclo de años de estudio (1985-2018), quedando al final 14 puntos de control de maduración, repartidos por toda la D.O. Utiel-Requena (Tabla 2). Los parámetros de maduración de la uva utilizados en el estudio han sido los sólidos solubles totales, expresados en la escala Baumé (ºBé), el pH y la acidez total, expresada en g/L de ácido tartárico.

Tabla 2. Selección datos maduración de la uva

TERMINO MUNICIPAL	ALTITUD	X UTM	Y UTM	VARIEDAD	COLOR	FORMACION	SECANO/ RIEGO	VARIABLES ESTUDIO	SERIES HISTÓRICAS ESTUDIO
Siete Aguas	708	676593	4369982	Bobal	Tinta	Vaso	Secano	<p>Sólidos solubles totales (°Bé)</p> <p>pH</p> <p>Acidez total (g/L de ác. tartárico)</p>	<p>1989 - 2019 (Tendencia maduración)</p> <p>2002 - 2018 (Correlación maduración con el clima)</p> <p>Fechas de los muestreos el 15 de septiembre de cada año</p>
Requena	729	670904	4371616	Bobal	Tinta	Vaso	Secano		
Requena	770	665652	4375319	Bobal	Tinta	Vaso	Secano		
Venta del Moro	635	644722	4366356	Bobal	Tinta	Vaso	Secano		
Venta del Moro	756	639027	4372057	Bobal	Tinta	Vaso	Secano		
Requena	695	658058	4374950	Bobal	Tinta	Vaso	Secano		
Requena	697	657182	4376720	Bobal	Tinta	Vaso	Secano		
Requena	735	659828	4377662	Bobal	Tinta	Vaso	Secano		
Utiel	804	646788	4384002	Bobal	Tinta	Vaso	Secano		
Utiel	797	648525	4389562	Bobal	Tinta	Vaso	Secano		
Camporrobles	930	639417	4387897	Bobal	Tinta	Vaso	Secano		
Venta del Moro	799	640986	4374530	Bobal	Tinta	Vaso	Secano		
Caudete de las Fuentes	845	648323	4377185	Bobal	Tinta	Vaso	Secano		
Utiel	788	650394	4379336	Bobal	Tinta	Vaso	Secano		

Fuente: D.O. Utiel-Requena. Elaboración propia

3.4 Análisis de datos

Una vez descargados los datos meteorológicos del servidor, estos han sido revisados minuciosamente para asegurar que no existen datos faltantes. A partir de la serie de datos de cada estación climática, se calculó el valor de temperatura media mensual, promediando todos los valores de cada día, para obtener un único valor mensual. En el caso de la precipitación, se realizó un sumatorio de todos los valores de cada mes. La serie de datos de ambas estaciones meteorológicas fueron promediados en una sola serie de datos. Con los valores climáticos mensuales, estos se han vuelto a agrupar para poder hacer estudios más adaptados a la fenología del cultivo de la variedad 'Bobal'. Los datos anuales de temperatura y precipitación hacen referencia al periodo enero-diciembre. El periodo de abril a septiembre abarca el ciclo de cultivo de la variedad 'Bobal' y los meses de agosto y septiembre el periodo de maduración de la uva, siendo ambos periodos los considerados de mayor interés para este estudio. Respecto a los datos de maduración de la uva, se han promediado los valores anuales de todas las parcelas.

Para evaluar el impacto del cambio climático sobre la maduración de la uva se han establecido matrices de correlación entre las variables climáticas (temperatura y precipitación) y los parámetros de calidad de la uva.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Evolución climática de la demarcación geográfica Utiel-Requena 2002-2018

En la figura 9 podemos observar la evolución y tendencia durante los años 2002 a 2018 de las temperaturas medias anuales y las precipitaciones totales acumuladas en la demarcación geográfica de la DO Utiel-Requena.

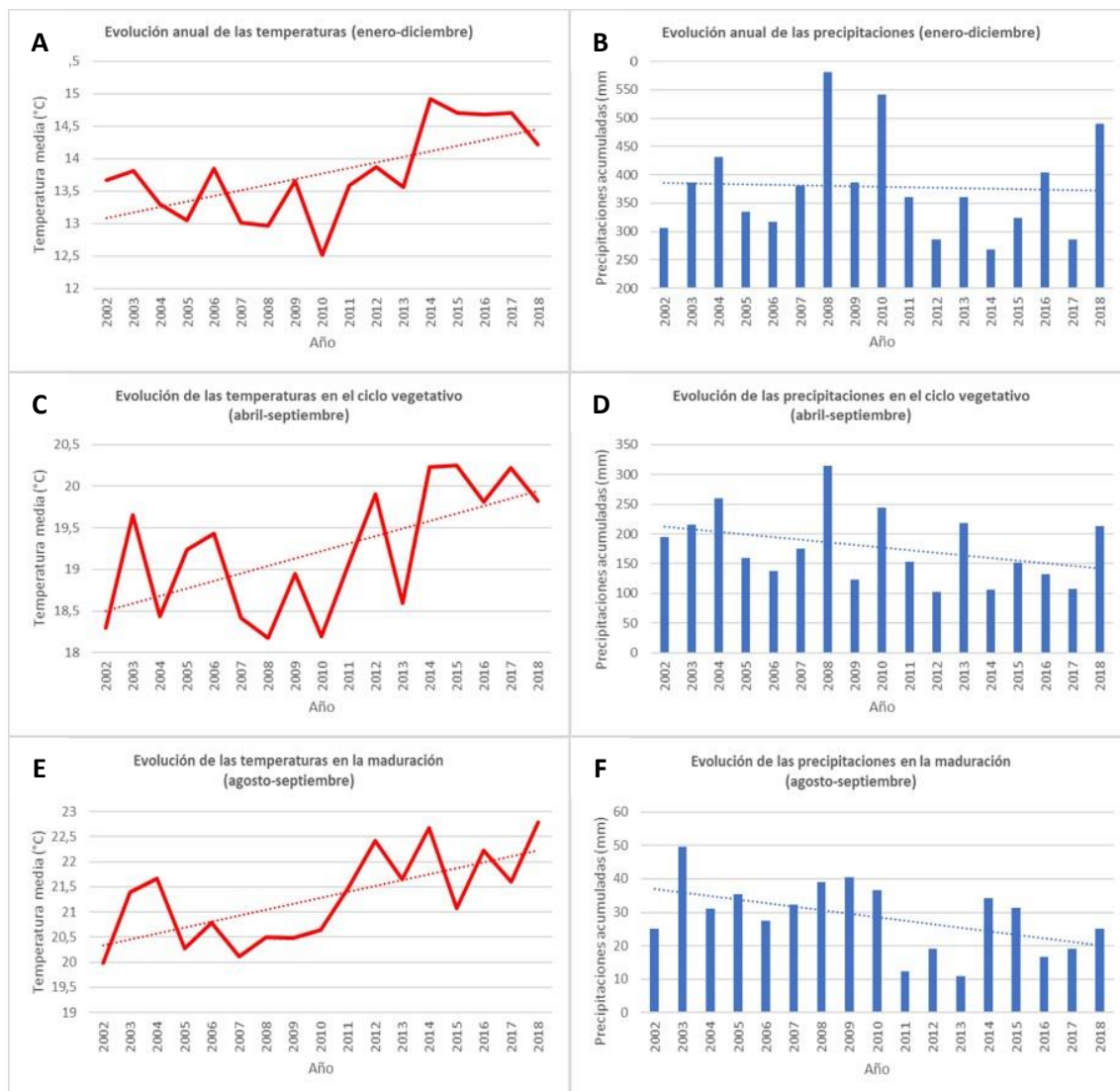


Figura 9. Evolución de la temperatura media y las precipitaciones anuales (A y B), durante el ciclo de cultivo (C y D) y durante el periodo de maduración de la uva (E y F) a lo largo del ciclo histórico 2002-2018

La evolución de la temperatura media anual, considerando el año natural de enero a diciembre, muestra una tendencia a un incremento significativo en las temperaturas que parece ser acompañado por un descenso más suave en las precipitaciones (Figuras 9A y B). Si nos fijamos en grupos de años, del 2002 al 2004 la temperatura media y las precipitaciones medias del grupo son de 13,6 °C y 374,7 mm, del 2007 al 2009 de 12,8 °C y 501,4 mm, y el último grupo de 14,5 °C y 393,2 mm los años del 2016 al 2018. Cuando hubo un descenso en las temperaturas medias en ese grupo de años se intensificaron las precipitaciones. Los efectos del cambio climático se han hecho más evidentes en los últimos años, con un incremento de la

temperatura de casi 1 °C, respecto a los primeros años. En cambio, en las precipitaciones no se aprecian cambios significativos, pero sí los episodios de mayor sequía coincidiendo con los años de mayor temperatura.

En la evolución climática durante el ciclo del cultivo, considerando el periodo de abril a septiembre, se aprecia mejor una pendiente más pronunciada de la recta de tendencia (figuras 9C y D). Si analizamos la serie histórica de los parámetros climáticos por grupos de años, del 2002 al 2004 la temperatura media y las precipitaciones medias del grupo fue de 18,8 °C y 223,4 mm, del 2007 al 2009 de 18,3 °C y 244,8 mm, y el último grupo de 20 °C y 150,8 mm los años del 2016 al 2018. Observamos que se forma otro valle en las temperaturas y otro pico en las precipitaciones, coincidiendo de nuevo en que cuando hubo un descenso en las temperaturas medias en ese grupo de años se intensificaron las precipitaciones. Durante el ciclo de cultivo los efectos del cambio climático han sido más evidentes, con un aumento de la temperatura, especialmente en los últimos años, con un incremento de más de 1 °C, respecto a los primeros años en esta etapa. Respecto a las precipitaciones, durante el ciclo de cultivo también se ve un efecto significativo del cambio climático con un descenso de las precipitaciones de más de 70 mm por ciclo en los últimos años, apreciando de nuevo episodios de mayor sequía coincidiendo con los años de mayor temperatura.

Finalmente, analizando la evolución de los parámetros climáticos durante el periodo de maduración de la uva en la zona Utiel-Requena, considerando solo los meses de agosto y septiembre, de nuevo se ha observado un aumento de la temperatura media anual. Nuevamente nos fijamos en grupos de años, del 2002 al 2004 la temperatura media y las precipitaciones medias del grupo son de 21 °C y 35,3 mm, del 2007 al 2009 de 20,4 °C y 35,9 mm, y el último grupo de 22,2 °C y 20,3 mm los años del 2016 al 2018. Observamos otra vez la forma de valle en las temperaturas y el pico en las precipitaciones, pero esta vez no tan pronunciado, pues el primer y segundo grupo de años prácticamente tienen las mismas cantidades. Coincide de nuevo que la mayor etapa de sequía se detecta con el aumento en las temperaturas medias, pero esta vez más en los últimos años. La temperatura media de los últimos años en el periodo de maduración se incrementó en más de 1 °C, respecto a los primeros años del estudio, mientras que las precipitaciones han descendido ligeramente en 15 mm los últimos.

El incremento de temperatura media y el descenso de precipitaciones observado en los últimos años en los viñedos de Bobal de Utiel-Requena coincide con lo observado en otros estudios realizados en distintas zonas del mundo, tal como han observado Jones et al. (2010) en Estados Unidos, Dunn et al. (2015) y Edwards et al. (2017) en Australia o Costa et al. (2019) y Fraga et al. (2015, 2016) en Portugal.

4.2 Evolución de los parámetros de calidad de la uva Bobal

La figura 10 muestra la evolución de los valores medios de los sólidos solubles totales, pH, acidez total y la relación sólidos solubles totales-acidez durante los años 2002 a 2018. Considerando que se han utilizado los datos de los muestres de mediados de septiembre en todos los casos, y que los viñedos de Bobal están en vaso y en seco, con un manejo de cultivo tradicional y extendido en la zona, se observa un efecto más que evidente del cambio climático sobre los parámetros de calidad de la uva. La evolución de los sólidos solubles totales (SST) muestra claramente una tendencia al alza en los últimos años. Fijándonos en grupos de años, del 1989 al 1991 el promedio de los SST es de 10 °Bé, del 1996 al 1998 de 10,4 °Bé, el grupo de 2003-2005 son 10,6 °Bé, los años entre el 2010 y el 2012 eran de 10,8 °Bé, finalmente

en el último grupo del 2017 al 2019 fueron 11,2 °Bé. Observamos que se aprecia claramente un aumento en más de 1 °Bé, en el último periodo, respecto a los primeros años. Si esta tendencia se intensifica y es constante, ocasionaría un aumento en el grado alcohólico de los vinos finales en futuros años.

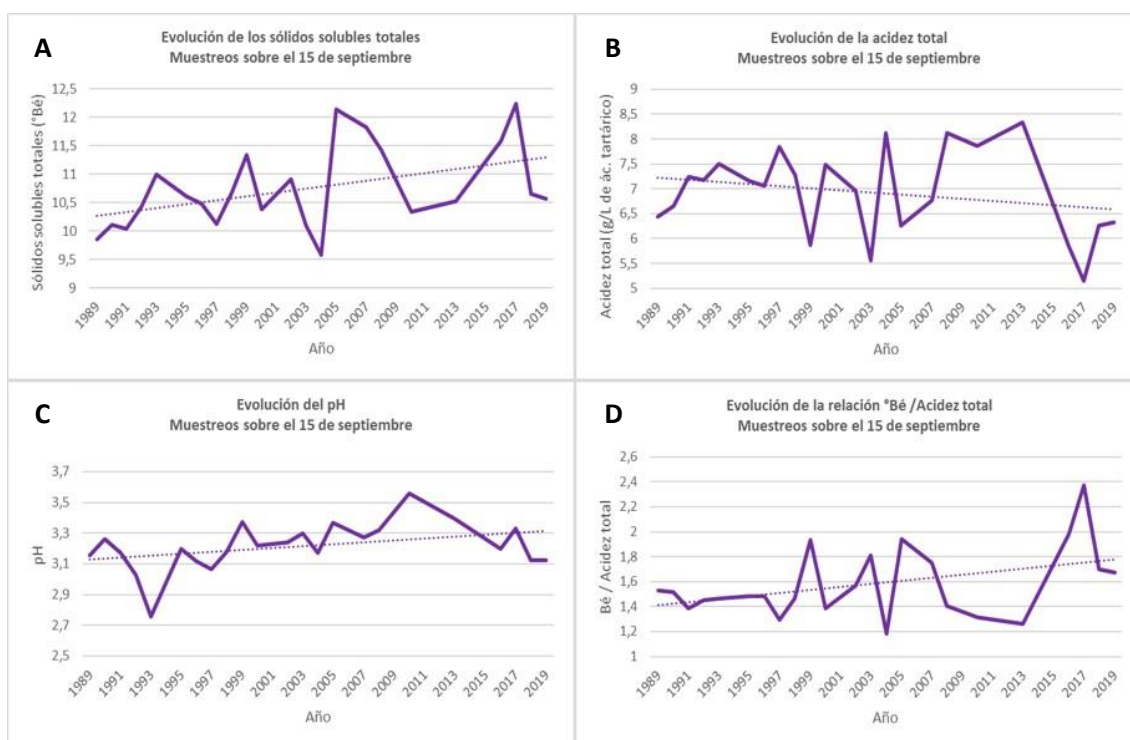


Figura10. Evolución de los valores medios de los sólidos solubles totales, pH, acidez total y la relación entre sólidos solubles totales – acidez durante la serie histórica 1989 – 2018

En el caso de la acidez, la tendencia muestra un descenso, aunque con una pendiente menos pronunciada que los SST (Figura 10B). Del 1989 al 1991 el promedio de la acidez total ha sido de 6,8 g/L, del 1996 al 1998 de 7,4 g/L, el grupo de 2003-2005 son 6,6 g/L, los años entre el 2010 y el 2012 eran de 8,1 g/L, y finalmente en el último grupo del 2017 al 2019 fueron 5,9 g/L. Aunque hay algunas oscilaciones, se ha observado un descenso de casi 1 g/L, comparando los últimos con los primeros. Siguiendo con el pH, la evolución histórica muestra una tendencia a un incremento suave entre el conjunto de años, pero no es muy constante, habiendo bastante dispersión entre los datos (Figura 10D). Dentro de los grupos de años, del 1989 al 1991 el valor promedio de pH ha sido de 3,20, del 1996 al 1998 de 3,12, el grupo de 2003-2005 son 3,28, los años entre el 2010 y el 2012 eran de 3,42, y finalmente en el último grupo del 2017 al 2019 fueron 3,19. Como comentamos anteriormente no se ha apreciado una tendencia clara en el conjunto de años.

Estos resultados coinciden con los observados en otros estudios sobre el cambio climático en otras zonas y con otras variedades de uva, tal como observaron Jones et al. (2012) en la región de Alto Douro (Portugal), Bonfante et al. (2017) en la variedad Aglianico en la Campania (Italia) o Leolini et al. (2019) para la variedad tinta Sangiovese en la Toscana (Italia), así como una importante disminución de la acidez, tal como observaron Chaves et al. (2010) en distintas variedades de uva portuguesas y Egunez (2015) en las variedades Tempranillo tinto y Tempranillo blanco en La Rioja (España).

Como podemos apreciar en las figuras 11 A y B, la variable climática que mejor explicaría el aumento de los SST ha sido un descenso de la precipitación acumulada durante el ciclo de cultivo ($R^2 = 0.37$). Respecto a la influencia de los parámetros climáticos sobre la acidez de la uva, se ha observado una fuerte correlación con ambos parámetros climáticos durante el ciclo de cultivo (Figuras 11C y D). El coeficiente de correlación en ambos casos ha sido elevado, con valores de R^2 de 0.75 para la temperatura y de 0.60 para la precipitación. Esto significaría que existe una relación entre el descenso en la acidez de la uva durante el ciclo de la vid con el aumento de las temperaturas, lo que evidencia que la acidez de la uva es el parámetro más afectado por los efectos del cambio climático. Esto podría suponer un descenso en la acidez de los mostos en años próximos, que actualmente siendo una variable que en años más desfavorables se puede llegar a corregir por déficit de acidez (algo normal que puede pasar algunos años en un clima mediterráneo), afectaría a la calidad de los vinos en gran medida, ya que la rectificación de la acidez empeora la calidad.

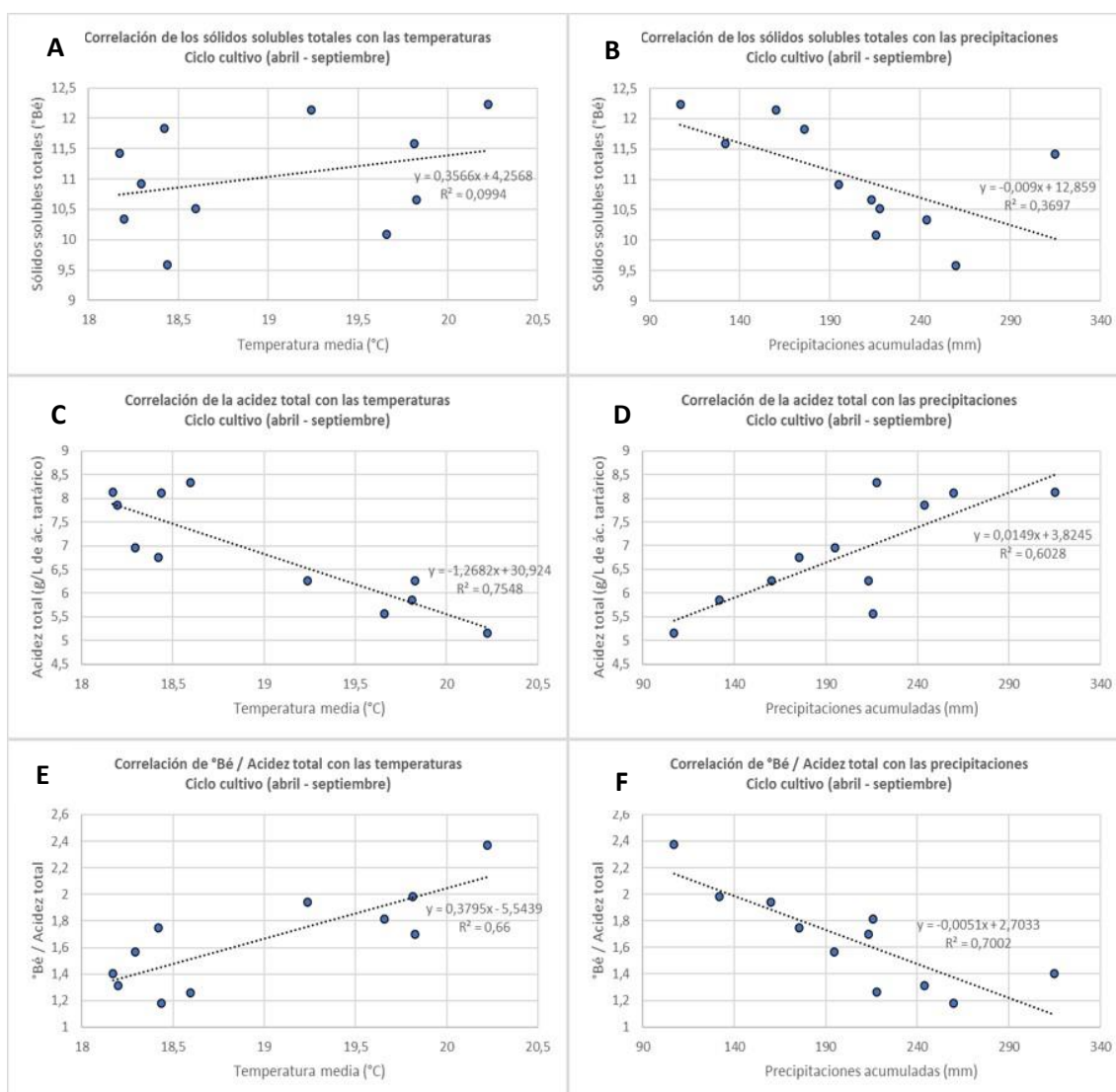


Figura 11. Correlación entre las variables del clima y la madurez de la uva durante el ciclo de cultivo de la vid (abril - septiembre) considerando los datos del periodo 2002 – 2018

Si analizamos la relación entre SST y acidez, observamos una tendencia al aumento de estos valores (Figura 10D). Ente 1989 al 1991 la media de la relación SST–acidez total fue de 1,48, del

1996 al 1998 de 1,41, en el grupo de 2003-2005 eran 6,65 1,64, los años entre el 2010 y el 2012 era 1,33, y en el último grupo del 2017 al 2019 fueron 1,91. La diferencia entre los últimos años y los primeros es de casi 0,5. El aumento del ratio SST-acidez se ha debido principalmente al aumento de los SST seguido de un descenso de la acidez, lo que se traduce en cambios significativos en la calidad de la uva. La relación SST-acidez total, ha mostrado una fuerte correlación tanto con la temperatura media ($R^2=0.66$) como con la precipitación acumulada en el periodo del ciclo de cultivo ($R^2=0.70$). Estos resultados demuestran un impacto significativo de las variables climáticas sobre la maduración de la uva. En este sentido, un aumento de la relación SST-acidez indicaría un adelanto claro de la maduración de la uva, que debería ir seguido de un adelanto de la vendimia.

5. CONCLUSIONES

Los viñedos de Bobal, en vaso y en secano, cultivo tradicional y extendido en la zona de la D.O. Utiel-Requena, se podría ver más afectado por el cambio climático según las tendencias observadas durante los últimos años, a causa de sufrir mayor estrés hídrico por la sequía al haber menos precipitaciones y al suceder un aumento de las temperaturas en el ciclo de cultivo de la vid.

Si esta tendencia se intensifica y es constante, ocasionaría un aumento en el grado alcohólico de los vinos finales en futuros años.

Por lo que se refiere al pH no se aprecia una tendencia clara por su dispersión de datos, entendemos que no hay mucha correlación por lo menos en el ciclo de la vid.

La acidez total en cambio sufriría una bajada en los vinos en años próximos. Actualmente el déficit de acidez es algo común en territorio español, siendo en años más desfavorables un problema grave que puede llegar a necesitar correcciones que le afectarían a la calidad de los vinos en gran medida.

En la correlación de parámetros de maduración con la climatología, se aprecia que las bajas precipitaciones van a afectar en más medida a la acidez que a los sólidos solubles totales.

La tendencia a años más secos favorecerá una bajada en la acidez que impactará en la calidad del vino.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS O BIBLIOGRAFÍA

- Armas, I. (2014). Viticultura y Cambio Climático. Trabajo Fin de Grado en Enología. Universidad de La Rioja.
- Athes, V.; Peña Y Lillo, M.; Bernard, C.; Pérez-Correa, R.; Souchon, I. (2004). Comparison of experimental methods for measuring infinite dilution volatilities of aroma compounds in water/ethanol mixtures. *J. Agric. Food Chem.*, nº 52, 2021-2027.
- Bergqvist J, Dokoozlian N, Ebisuda N (2001) Sunlight exposure and temperature effects on berry growth and composition of Cabernet Sauvignon and Grenache in the Central San Joaquin Valley of California. *American Journal of Enology and Viticulture*, 52(1), 1-7.
- Bernardo, S.; Dinis, L.T.; Luzio, A.; Pinto, G.; Meijon, M.; Valledor, L.; Conde, A.; Geros, H.; Correia, C.M.; Moutinho-Pereira, J. (2017). Kaolin particle film application lowers oxidative damage and DNA methylation on grapevine (*Vitis vinifera* L.). *Environ. Exp. Bot.*, 139, 39–47.
- Bindi, M.; Fibbi, L.; Gozzini, B. (1996). "Modelling the impact of future climate scenarios on yield and yield variability of grapevine". *Clim Res Vol. 7*, pgs.213-224.
- Blanco-Cipollone, F.; Lourenco, S.; Silvestre, J.; Conceicao, N.; Monino, M.J.; Vivas, A.; Ferreira, M.I. (2017). Plant water status indicators for irrigation scheduling associated with iso- and anisohydric behavior: Vine and plum trees. *Horticulturae* 3, 47.
- Bois B, van Leeuwen C, Pieri P, Gaudillère J, Saur E, Joly D, Grimal D (2008). Viticultural agroclimatic cartography and zoning at mesoscale level using terrain information, remotely sensed data and weather station measurements. Case study of Bordeaux winegrowing area. VIIème Congrès International des Terroirs viticoles. Nyons (Switzerland)
- Bonfante, A.; Alfieri, S.M.; Albrizio, R.; Basile, A.; De Mascellis, R.; Gambuti, A.; Giorio, P.; Langella, G.; Manna, P.; Monaco, E. (2017). Evaluation of the effects of future climate change on grape quality through a physically based model application: A case study for the Aglianico grapevine in Campania region, Italy. *Agric. Syst.*, 152, 100–109.
- Bonfante, A.; Monaco, E.; Langella, G.; Mercogliano, P.; Bucchignani, E.; Manna, P.; Terribile, F. (2018). A dynamic viticultural zoning to explore the resilience of terroir concept under climate change. *Sci. Total Environ.*, 624, 294–308.
- Brandt, M.; Scheidweiler, M.; Rauhut, D.; Patz, C.D.; Will, F.; Zorn, H.; Stoll, M. (2018). The influence of temperature and solar radiation on phenols in berry skin and maturity parameters of *Vitis vinifera* L. cv. Riesling. *OENO One*, 2, 287–302.
- Carbonell-Bejerano, P.; Diago, M.P.; Martinez-Abaigar, J.; Martinez-Zapater, J.M.; Tardaguila, J.; Nunez-Olivera, E. (2014). Solar ultraviolet radiation is necessary to enhance grapevine fruit ripening transcriptional and phenolic responses. *BMC Plant Biol.*, 14, 23-31.
- Carbonneau A (1998). Irrigation, vignoble et produits de la vigne. *Traité d'irrigation*. Lavoisier, Paris, 257-276
- Carbonneau A (2003). Ecophysiologie de la vigne et terroir. In: Fregoni (ed), *Terroir, Zonazione Viticoltura*, Phytoline, Piacenza, Italy.
- Caubel, J.; Launay, M.; Garcia de Cortazar-Atauri, I.; Ripoché, D.; Huard, F.; Buis, S.; Brisson, N. (2014). A new integrated approach to assess the impacts of climate change on grapevine fungal diseases: The coupled MILA-STICS model. *J. Int. Sci. Vigne Vin.*, 48, 45-54.
- Chaves, M.M.; Zarrouk, O.; Francisco, R.; Costa, J.M.; Santos, T.; Regalado, A.P.; Rodrigues, M.L.; Lopez, C.M. (2010). Grapevine under deficit irrigation hints from physiological and molecular data. *Ann Bot*, nº 105, 661-676.
- Cohen, S.D.; Tarara, J.M. (2008). Assessing the impact of temperature on grape phenolic metabolism. *Anal Chim Acta*, nº 621: 57-67.

- Conde, A.; Pimentel, D.; Neves, A.; Dinis, L.T.; Bernardo, S.; Correia, C.M.; Geros, H.; Moutinho-Pereira, J. (2016). Kaolin foliar application has a stimulatory effect on phenylpropanoid and flavonoid pathways in grape berries. *Front. Plant Sci*, 7-16.
- Costa, R.; Fraga, H.; Fonseca, A.; de Cortazar-Atauri, I.G.; Val, M.C.; Carlos, C.; Reis, S.; Santos, J.A. (2019). Grapevine phenology of cv. Touriga Franca and Touriga Nacional in the Douro Wine Region: Modelling and climate change projections. *Agron. Basel*, 9: 210-218.
- Dam, D.; Molitor, D.; Beyer, M. (2019). Natural compounds for controlling *Drosophila suzukii*. A review. *Agron. Sustain. Dev.*, 39.
- Del Rio, J.L.P.; Kennedy, J.A. (2006). Development of proanthocyanidins in *Vitisvinifera* L. cv. Pinot Noir grapes and extraction into wine. *American Journal of Enologyand Viticulture*, nº 57, 125-132.
- Deutsch, C.A.; Tewksbury, J.J.; Tigchelaar, M.; Battisti, D.S.; Merrill, S.C.; Huey, R.B.; Naylor, R.L. (2018). Increase in crop losses to insect pests in a warming climate. *Science*, 361, 916-919.
- Downey, M.O.; Dokoozlian, N.K.; Krstic, M.P. (2006). Cultural practice and environmental impacts on the flavonoid composition of grapes and wine: A review of recent research. *American Journal of Enology and Viticulture*, nº 57, 257-268.
- Duchêne, E.; Schneider, C. (2005). Grapevine and climatic changes: A glance at the situation in Alsace. *Agronomy for Sustainable Development*, nº 25, 93-99.
- Dunn, M.R.; Lindsay, J.A.; Howden, M. (2015). Spatial and temporal scales of future climate information for climate change adaptation in viticulture: A case study of User needs in the Australian winegrape sector. *Aust. J. Grape Wine Res.*, 21, 226–239.
- Eccel, E.; Zollo, A.L.; Mercogliano, P.; Zorer, R. (2016). Simulations of quantitative shift in bioclimatic indices in the viticultural areas of Trentino (Italian Alps) by an open source R package. *Comput. Electron. Agric.*, 127, 92–100.
- Edwards, E.J.; Unwin, D.; Kilmister, R.; Treeby, M. (2017). Multi-seasonal effects of warming and elevated CO₂ on the physiology, growth and production of mature, field grown, Shiraz grapevines. *OENO One*, 51.
- Egunez, A. (2015). Efecto del cambio climático sobre la producción y calidad de las bayas de dos variedades de vid (*Vitis vinifera* L.) Tempranillo blanco y tinto. Trabajo Fin de Grado. Univ. de Navarra.
- Escudero, A.; Campo, E.; Fariña, L.; Cacho, J.; Ferreira, V. (2007). Analytical Characterization of the Aroma of Five Premium Red Wines. Insights into the Role of Odor Families and the Concept of Fruitiness of Wines. *J. Agric. Food Chem.*, nº 55, 4501-4510.
- Ewert F, Rounsevell MDA, Reginster I, Metzger MJ, Leemans R (2005) Future scenarios of European agricultural land use I. Estimating changes in crop productivity. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 107, 101-116
- Fraga, H.; Costa, R.; Moutinho-Pereira, J.; Correia, C.M.; Dinis, L.-T.; Gonçalves, I.; Silvestre, J.; Eiras-Dias, J.; Malheiro, A.C.; Santos, J.A. (2015). Modeling phenology, water status, and yield components of three portuguese grapevines using the STICS crop model. *Am. J. Enol. Vitic.*, 66, 482–491.
- Fraga, H.; García de Cortázar Atauri, I.; Malheiro, A.C.; Santos, J.A. (2016). Modelling climate change impacts on viticultural yield, phenology and stress conditions in Europe. *Glob. Chang. Biol.*, 22, 3774–3788.
- Fraga, H.; García de Cortázar Atauri, I.; Santos, J.A. (2018). Viticultural irrigation demands under climate change scenarios in Portugal. *Agric. Water Manag.*, 196, 66–74.
- Fraga, H.; Pinto, J.G.; Santos, J.A. (2019). Climate change projections for chilling and heat forcing conditions in European vineyards and olive orchards: A multi-model assessment. *Clim. Chang.*, 152, 179–193.

- Fregoni, C. y Pezzutto, S. (2000). "Principes et premières approches de l'indice bioclimatique de qualité de Fregoni". *Progr. Agric. Vitic.* 18 , pgs. 390–396.
- Garcia, J.; Martinez-Cutillas, A. y Romero, P. (2012). "Financial analysis of wine grape production using regulated deficit irrigation and partial-root zone drying strategies". *Irrig Sci*, 30 (3), pgs.179-188.
- Garcia, L.; Celette, F.; Gary, C.; Ripoche, A.; Valdes-Gomez, H.; Metay, A. (2018). Management of service crops for the provision of ecosystem services in vineyards: A review. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 251, 158–170.
- García, N. (2014). Reducción de azúcar en mostos por nanofiltración para la obtención de vinos con menor grado alcohólico. Tesis Doctoral en Química Analítica. Univ. De Valladolid.
- Goldner, M.C.; Zamora, M.C.; Lira, P.; Gianninoto, H.; Bandoni, A. (2009). Effect of ethanol level in the perception of aroma attributes and the detection of volatile compounds in red wine. *Journal of Sensory Studies*, nº 24, 243–257.
- Goncalves, B.; Falco, V.; Moutinho-Pereira, J.; Bacelar, E.; Peixoto, F.; Correia, C. (2009). Effects of elevated CO₂ on grapevine (*Vitis vinifera* L.): Volatile composition, phenolic content, and in vitro antioxidant activity of red wine. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, nº 57, 265-273.
- Gutierrez-Gamboa, G.; Perez-Alvarez, E.P.; Rubio-Breton, P.; Garde-Cerdan, T. (2019). Changes on grape volatile composition through elicitation with methyl jasmonate, chitosan, and a yeast extract in Tempranillo (*Vitis vinifera* L.) grapevines. *Sci. Hortic Amst.*, 244, 257–262.
- Hannah, L. (2013). Climate change, wine and conservation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, nº 110, 6907-6912.
- Harmanny, K.S.; Malek, Z. (2019). Adaptations in irrigated agriculture in the Mediterranean region: An overview and spatial analysis of implemented strategies. *Reg. Environ. Chang.*, 19, 1401–1416.
- Hermosín Gutiérrez, I. (2003). Influence of ethanol content on the extent of copigmentation in a Cencibel young red wine. *J. Agric. Food Chem.*, nº 51, 4079-408.
- Hidalgo, J. (2005). Tecnología de elaboración y soluciones al aumento de pH en los vinos debido al potasio. *II Encuentro de la Fundación para la cultura del vino*, 65-86.
- Howell, G. (2008). Vintage 2008: The good, the bad and the heatwave. *Australian & New Zealand Grapegrower & Winemaker*, nº 532, 51-52.
- Howell, G. (2009). Vintage: 2009: Hazy days. *Australian & New Zealand Grapegrower & Winemaker*, nº 544, 47-48.
- Iglesias A. y Medina F. (2009). Consecuencias del cambio climático para la agricultura: ¿un problema de hoy o del futuro?. *Revista española de Estudios Agrosociales y Pesqueros*, nº 221, 2009.
- Jackson, D. I. y Lombard, P. B. (1993). "Environmental and management practices affecting grape composition and wine quality: a review". *Am. J. Enol. Vitic.* 4 , 409–430.
- Jones GV, Alves F (2012) Impact of climate change on wine production: a global overview and regional assessment in the Douro Valley of Portugal. *International Journal of Global Warming*, 4(3), 383-406.
- Jones GV, Duff AA, Hall A, Myers JW (2010) Spatial analysis of climate in winegrape growing regions in the western United States. *American Journal of Enology and Viticulture*, 61(3), 313-326.
- Jones, G.; White, M. A.; Cooper, O. R. y Storchmann, K. (2005). "Climate change and global wine quality". *Clim. Change* 73 , 319–343.

- Jones, P.R.; Gawel, R.; Francis, I.L.; Waters, E.J. (2008). The influence of interactions between major white wine components on the aroma, flavour and texture of model white wine. *Food Quality and Preference*, nº 19, 596–607.
- Judit, G.; Gabor, Z.; Adam, D.; Tamas, V. y Gyorgy, B. (2011). "Comparison of three soil management methods in the Tokaj wine region". *Mitt Klosterneuburg*, 61 (4), 187-195.
- Junk, J.; Goergen, K.; Krein, A. (2019). Future heat waves in different European capitals based on climate change indicators. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 19, 3959.
- Keller, M. (2010). *The science of grapevines: Anatomy and physiology*. New York: Academic Press.
- Kennison, K.R.; Wilkinson, K.L.; Williams, H.G.; Smith, J.H.; Gibberd, M.R. (2007). Smoke-derived taint in wine: Effect of postharvest smoke exposure of grapes on the chemical composition and sensory characteristics of wine. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, nº 55, 10897-10901.
- Kilmister, R.; Unwin, D.; Treeby, M.; Edwards, E.; Krstic, M. (2016). Effect of elevated CO₂ and temperature on phenology, carbohydrates, yield and grape composition-preliminary results. *Wine Vitic. J*, nº 31, 38-40.
- King, E.S.; Dunn, R.L.; Heymann, H. (2013). The influence of alcohol on the sensory perception of red wines. *Food Quality and Preference*, nº 28, 235–243.
- Koech, R.; Langat, P. (2018). Improving irrigation water use efficiency: A review of advances, challenges and opportunities in the Australian context. *Water*, 10, 1771.
- Kroodsma DA, Field CB (2006) Carbon sequestration in California agriculture, 1980-2000. *Ecological Applications*, 16(5), 1975-1985.
- Lago-Vanzela, E.S.; Procópio, D.P.; Fontes, E.A.F.; Ramos, A.; Stringheta, P.C.; Da-Silva, R.; Castillo-Muñoz, N.; Hermosín-Gutiérrez, I. (2014). Aging of red wines made from hybrid grape cv. BRS Violeta: effects of accelerated aging conditions on phenolic composition, color and antioxidant activity. *Food Research International*, nº 56, 182-189.
- Lazoglou, G.; Anagnostopoulou, C.; Koundouras, S. (2017). Climate change projections for Greek viticulture as simulated by a regional climate model. *Theor. Appl. Climatol.*, 17.
- Leolini, L.; Moriondo, M.; Fila, G.; Costafreda-Aumedes, S.; Ferrise, R.; Bindi, M. (2018). Late spring frost impacts on future grapevine distribution in Europe. *Field Crop. Res.*, 222, 197-208.
- Leolini, L.; Moriondo, M.; Romboli, Y.; Gardiman, M.; Costafreda-Aumedes, S.; de Cortazar-Atauri, I.G.; Bindi, M.; Granchi, L.; Brilli, L. (2019). Modelling sugar and acid content in Sangiovese grapes under future climates: An Italian case study. *Clim. Res.*, 78, 211–224.
- Lereboullet AL, Beltrando G, Bardsley DK (2013). Socio-ecological adaptation to climate change: A comparative case study from the Mediterranean wine industry in France and Australia. *Agriculture, ecosystems & environment*, 164, 273-285
- Loira, I. (2014). Optimización de parámetros fermentativos de calidad en vinos tintos de zonas cálidas. Tesis Doctoral en Ingeniería Agronómica. Univ. Politécnica de Madrid
- Malheiro, A.; Santos, J.; Fraga, H. y Pinto, J. (2010). "Climate change scenarios applied to viticultural zoning in Europe". *Clim Res*, 43 (3), 163-177.
- Mastrandrea, M.D.; Mach, K.J.; Barros, V.R.; Bilir, T.E.; Dokken, D.J.; Edenhofer, O.; Field, C.B.; Hiraishi, T.; Kadner, S.; Krug, T.; Minx, J.C.; Pichs-Madruga, R.; Plattner, G.; Qin, D.; Sokona, Y.; Stocker, T.F.; Tignor, M. (2014). IPCC Expert Meeting on Climate Change, Food, and Agriculture. IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Mendelsohn R, Nordhaus WD, Shaw D (2007) The impact of global warming on agriculture: a Ricardian analysis. *The American economic review*, 753-771

- Miras-Avalos, J.M.; Fandino, M.; Trigo-Cordoba, E.; Martinez, E.M.; Moutinho-Pereira, J.; Correia, C.M.; Dinis, L.T.; Rey, B.J.; Malheiro, A.C.; Cancela, J.J. (2017). Effects of surface and subsurface drip irrigation on physiology and yield of 'Godello' grapevines grown in Galicia, NW Spain. *Cienc. Tec. Vitivinic.*, 32, 42–52.
- Molitor, D.; Baus, O.; Ho mann, L.; Beyer, M. (2016). Meteorological conditions determine the thermal-temporal position of the annual Botrytis bunch rot epidemic on *Vitis vinifera* L. cv. Riesling grapes. *OENO One*, 50, 231–244.
- Molitor, D.; Junk, J. (2019). Climate change is implicating a two-fold impact on air temperature increase in the ripening period under the conditions of the Luxembourgish grapegrowing region. *OENO One*, 53, 409–422.
- Molitor, D.; Schultz, M.; Mannes, R.; Pallez-Barthel, M.; Ho mann, L.; Beyer, M. (2019). Semi-minimal pruned hedge: A potential climate change adaptation strategy in viticulture. *Agronomy*, 9, 173–178.
- Morales-Castilla, I.; García de Cortázar-Atauri, I.; Cook, B.I.; Lacombe, T.; Parker, A.; van Leeuwen, C.; Nicholas, K.A.; Wolkovich, E.M. (2020). Diversity buffers winegrowing regions from climate change losses. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 117 (6), 2864–2869.
- Moreno Rodríguez, J. M. De la Rosa D, Zazo C. (2005). Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático. Madrid: Secretaría General Técnica. Ministerio de Medio Ambiente.
- Moriondo M, Jones GV, Bois B, Dibari C, Ferrise R, Trombi G, Bindi M (2013). Projected shifts of wine regions in response to climate change. *Climatic change*, 119(3-4), 825–839.
- Moriondo, M.; Ferrise, R.; Trombi, G.; Brilli, L.; Dibari, C.; Bindi, M. (2015). Modelling olive trees and grapevines in a changing climate. *Environ. Model. Softw.*, 72, 387–401.
- Moutinho-Pereira J, Gonçalves B, Bacelar E, Cunha JB, Coutinho J, Correia, CM (2009). Effects of elevated CO₂. *Vitis*, 48(4), 159–165
- Neethling, E.; Barbeau, G.; Coulon-Leroy, C.; Quenol, H. (2019). Spatial complexity and temporal dynamics in viticulture: A review of climate-driven scales. *Agric. And Forest Meteorology*, 276–277.
- Neethling, E.; Petitjean, T.; Quéno, H.; Barbeau, G. (2016). Assessing local climate vulnerability and winegrowers' adaptive processes in the context of climate change. *Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Change*.
- Nemani, R.; White, M.A.; Cayan, D.R.; Jones, G.V.; Running, S.W.; Coughlan, J.C. (2001). Asymmetric warming over coastal California and its impact on the premium wine industry. *Climate Research*, 19, 25–34.
- Nicholas KA, Durham WH (2012). Farm-scale adaptation and vulnerability to environmental stresses: Insights from winegrowing in Northern California. *Global Environmental Change*, 22(2), 483–494
- Ollat, N.; Bordenave, L.; Tandonnet, J.P.; Boursiquot, J.M.; Marguerit, E. (2016). Grapevine rootstocks: Origins and perspectives. *Acta Hort.*, 1136, 11–22.
- Ollat, N.; Touzard, J.M.; van Leeuwen, C. (2016). Climate Change Impacts and Adaptations: New Challenges for the Wine Industry. *J. Wine Econ.*, 11, 139–149.
- Orduña, R. (2010). Climate change associated effects on grape and wine quality production. *Food Research International*, nº 43, 1844–1855.
- Parra CS, Aguirreolea J, Sánchez-Díaz M, Irigoyen JJ, Morales F (2010). Effects of climate change scenarios on Tempranillo grapevine (*Vitis vinifera* L.) ripening: response to a combination of elevated CO₂ and temperature, and moderate drought. *Plant and soil*, 337(1-2), 179–191.

- Pigeau, G.M.; Bozza, E.; Kaiser, K.; Inglis, D.L. (2006). Concentration effect of Riesling Icewine juice on yeast performance and wine acidity. *Journal of Applied Microbiology*, 103, 1691-1698.
- Ramos, M.C. (2017). Projection of phenology response to climate change in rainfed vineyards in north-east Spain. *Agric. For. Meteorol.*, 247, 104–115.
- Recamales, A.F.; Gallo, V.; Hernanz, D.; González- Miret, M.L.; Heredia, F.J. (2011). Effect of time and storage conditions on major volatile compounds of Zalema white wine. *Journal of Food Quality*, nº 34, 100-110.
- Resco, P.; Iglesias, A.; Bardají, I.; Sotés, V. (2015) “Exploring adaptation choices for grapevine regions in Spain”. *Regional Environmental Change* 16 (4): 979-993.
- Ribera, T.; Olabe, A. (2015). La cumbre del clima de París. Real Instituto Elcano. España.
- Riou, C.; Becker, N.; Sotés Ruiz, V.; Gomez-Miguel, V.; Carbonneau, A.; Panagiotou, M., et al. (1994). Le déterminisme climatique de la maturation du raisin: application au zonage de la teneur en sucre dans la communauté européenne. Luxembourg: Office des Publications Officielles des Communautés Européennes.
- Robinson, A.L.; Mueller, M.; Heymann, H.; Ebeler, S.E.; Boss, P.K.; Solomon, P.S.; Trengove, R.D. (2010). Effect of simulated shipping conditions on sensory attributes and volatile composition of commercial White and red wines. *American Journal of Enology and Viticulture*, nº 61, 337-347.
- Robinson, A.L.; Boss, P.K.; Solomon, P.S.; Trengove, R.D.; Heymann, H.; Ebeler, S.E. (2014). Origins of Grape and Wine Aroma. Part 1. Chemical Components and Viticultural Impacts. *Am. J. Enol. Vitic.*, 65, 1–24.
- Rosenzweig, C., Tubiello, F.N., Goldberg, R., Mills, E., Bloomfield, J. (2002). Increased crop damage in the US from excess precipitation under climate change, *Global Environmental Change*, 12, 197-202
- Salazar, D.M.; Melgarejo, P. (2005). *Viticultura: técnicas de cultivo de la vid, calidad de la uva y atributos de los vinos*. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.
- Santos, J.A., Malheiro, A.C., Pinto, J.G., Jones, G.V. (2012). Macroclimate and viticultural zoning in Europe: observed trends and atmospheric forcing. *Climate Research*, 51(1), 89-103
- Santos, J.A.; Fraga, H.; Malheiro, A.; Moutinho-Pereira, J. (2020). A Review of the Potential Climate Change Impacts and Adaptation Options for European Viticulture. *Appl. Sci.*, 10, 3092-3097.
- Santos, J.A.; Costa, R.; Fraga, H. (2017). Climate change impacts on thermal growing conditions of main fruit species in Portugal. *Clim. Chang.* 2017, 140, 273–286.
- Santos, J.A.; Costa, R.; Fraga, H. (2018). New insights into thermal growing conditions of Portuguese grapevine varieties under changing climates. *Theor. Appl. Climatol.*, 135, 1215-1226.
- Schultz, H. (2000). “Climate change and viticulture: a European perspective on climatology, carbon dioxide and UV-B effects”. *Aust. J. Grape Wine Res.*, 6, 2–12.
- Seguin B, de Cortazar IG (2005) Climate warming: consequences for viticulture and the notion of terroirs in Europe. *Acta Horticulturae*, 689(1), 61-69.
- Seguin G (1983) Influence des terroirs viticoles sur la constitution et la qualite des vendanges [sol, pedologie, geologie, alimentation en eau]. *Bulletin de l’OIV*.
- Sgubin, G.; Swingedouw, D.; Dayon, G.; Garcia de Cortazar-Atauri, I.; Ollat, N.; Pagé, C.; Van Leeuwen, C. (2018). The risk of tardive frost damage in French vineyards in a changing climate. *Agric. For. Meteorology*, 250–251, 226–242.

- Smit B, Wande, J. (2006) Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. *Global environmental change*, 16(3), 282-292
- Sotés Ruiz, V.; Gómez-Miguel, V.; Almorox, J.; Vidal Ragout, J. y Vida Navarro, L. (2012). "Clima, zonificación; tipicidad del vino en España". In J. Tonietto, V. Sotés Ruiz, y V. Gómez-Miguel (Eds.), *Clima, zonificación; tipicidad del vino en regiones vitivinícolas Iberoamericanas*. CYTED.Madrid.
- Sotés, V. (2014). Incertidumbre y vulnerabilidad del viñedo ante el cambio climático: Incidencia de las enfermedades y plagas en el viñedo español. Jornada de trabajo PTV.Madrid.
- Tarara, J.M.; Lee, J.; Spayd, S.E.; Scagel, C.F. (2008). Berry temperature and solar radiation alter acylation, proportion, and concentration of anthocyanin in merlot grapes. *American Journal of Enology and Viticulture*, nº 59, 235-247.
- Tello, J.; Ibanez, J. (2017). What do we know about grapevine bunch compactness? A state-of-the-art review. *Aust. J. Grape Wine Res.*, 24 (1), 6-23.
- Tonietto, J. y Carbonneau, A. (2004). A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide. *Agricultural Forest Meteorology*, 124 ,81-97.
- Toth, J.P.; Vegvari, Z. (2016). Future of winegrape growing regions in Europe. *Aust. J. Grape Wine Res.*, 22, 64–72.
- Trought, M.C.T.; Parker, A.; Van Leeuwen, C. (2015). Can a change in vineyard practice mitigate warming due to climate change. *Acta Hortic.*,1082, 397–402.
- Van Leeuwen, C.; Darriet, P. (2016). The Impact of Climate Change on Viticulture and Wine Quality. *J. Wine Econ.*, 11, 150–167.
- Walker, R.R.; Blackmore, D.H.; Clingeleffer, P.R.; Godden, P.; Francis, L; Valente, P.; Robinson, E. (2003). Salinity effects on vines and wines. *Bulletin de l'O.I.V*, Nº 76, 200-227.
- Webb, L.; Whetton, P. H.; Bhend, J.; Darbyshire, R.; Briggs, P. R. y Barlow, E. W. (2012). "Earlier wine-grape ripening driven by climatic warming and drying and management practices". *Nature Clim. Change*, 2 (4), 259-264.
- White MA, Diffenbaugh NS, Jones GV, Pal JS, Giorgi F (2006). Extreme heat reduces and shifts United States premium wine production in the 21st century. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(30), 11217-11222.
- Winkler AJ, Cook JA, Kliewere WM, Lider LA (1974) *General Viticulture* (4th ed.) Berkeley: University of California Press.
- Wohlfahrt, Y.; Collins, C.; Stoll, M.(2019). Grapevine bud fertility under conditions of elevated carbon dioxide. *OENO One*, 53, 2.
- Wohlfahrt, Y.; Smith, J.P.; Tittmann, S.; Honermeier, B.; Stoll, M. (2018). Primary productivity and physiological responses of *Vitis vinifera* L. cvs. under Free Air Carbon dioxide Enrichment (FACE). *Eur. J. Agron.*, 101, 149–162.
- CRDO UTIEL REQUENA (2016). <https://utielrequena.org/conoce-los-terminos-municipales-de-la-utiel-requena/>
- FEDERACIÓN ESPAÑOLA DEL VINO (2020). <http://www.fev.es/es/>
- IVIA (2020). <http://riegos.ivia.es/>
- MAGRAMA (2020). <https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/producciones-agricolas/vitivinicultura/default.aspx>
- <http://www.magrama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/que-es-el-cambio-climatico-y-como-nos-afecta/>
- OEMV (2016) <https://www.oemv.es/>
- OIV (2015). <http://www.oiv.int/public/medias/2257/es-communique-de-presse-octobre-2015.pdf>
- OIV. 2019 Statistical Report on World Vitiviniculture; International Organisation of Vine and Wine.Paris, France (2029). <http://www.oiv.int/es/>

7. ANEXOS

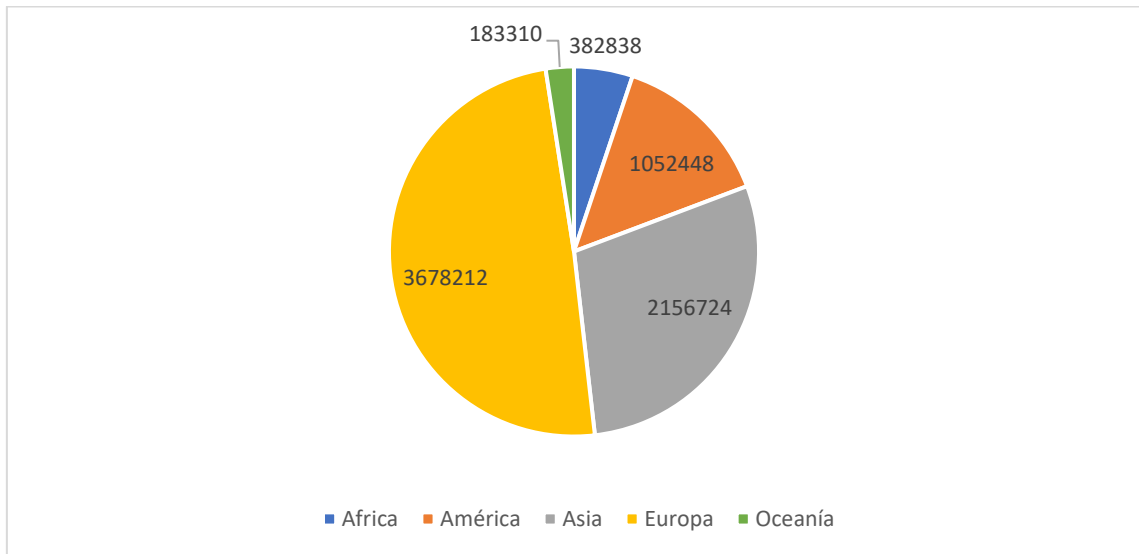


Figura 12. Superficie de viñedo en hectáreas por continentes (año 2016)¹

Fuente: OIV. Elaboración propia

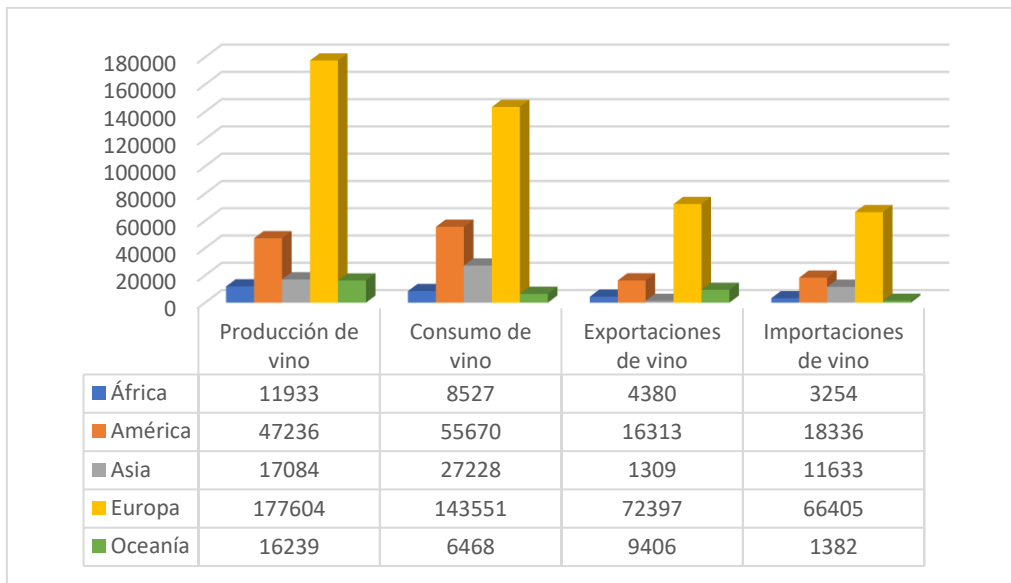


Figura 13. Producción, consumo, exportaciones e importaciones de vino por continentes, valores en 1000 hL (año 2016)²

Fuente: OIV. Elaboración propia

¹ Superficie de viñedo en fase de producción o todavía improductivo. Uvas para vinificación, de mesa y pasas.

² Todos los vinos, incluyendo los espumosos y especiales, pero no los zumos y mostos.

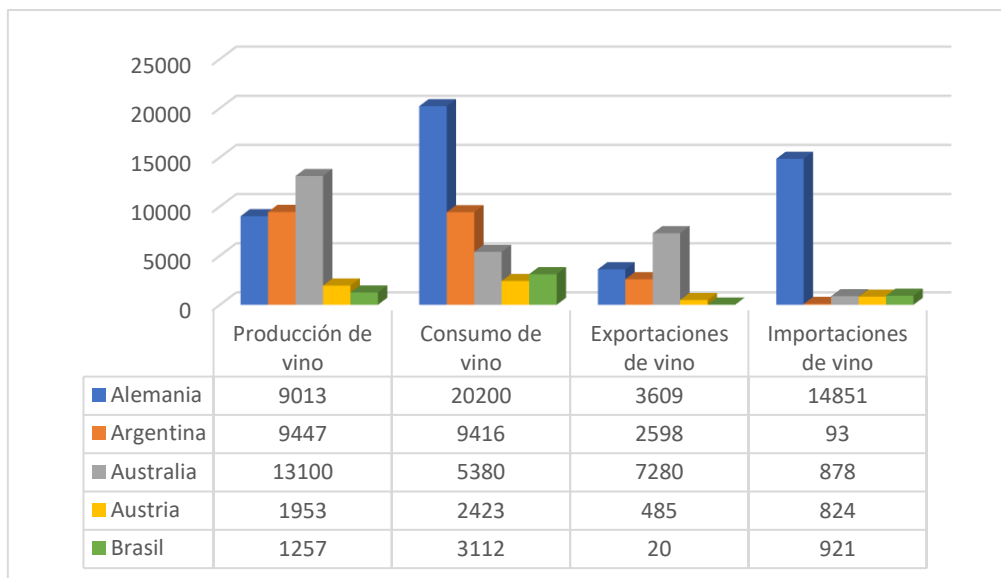


Figura 14. Producción, consumo, exportaciones e importaciones de vino por países (2016)³

Fuente: OIV. Elaboración propia

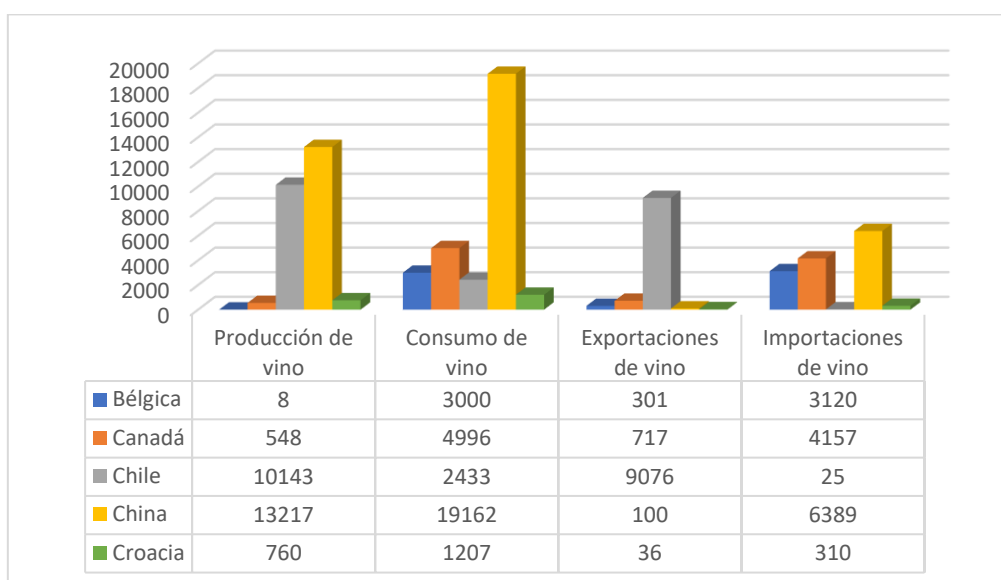


Figura 15. Producción, consumo, exportaciones e importaciones de vino por países (2016)⁴

Fuente: OIV. Elaboración propia

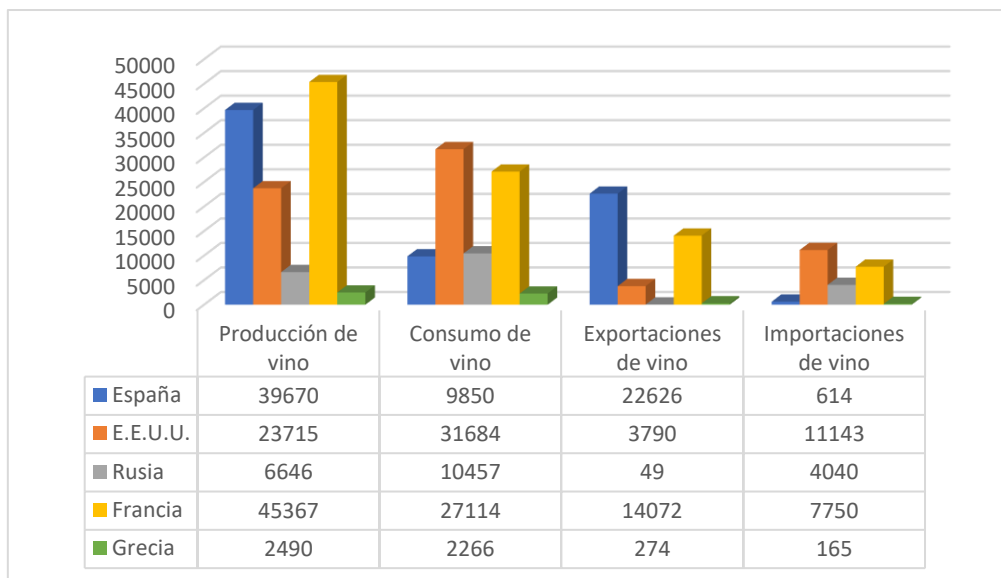


Figura 16. Producción, consumo, exportaciones e importaciones de vino por países (2016)⁵

Fuente: OIV. Elaboración propia

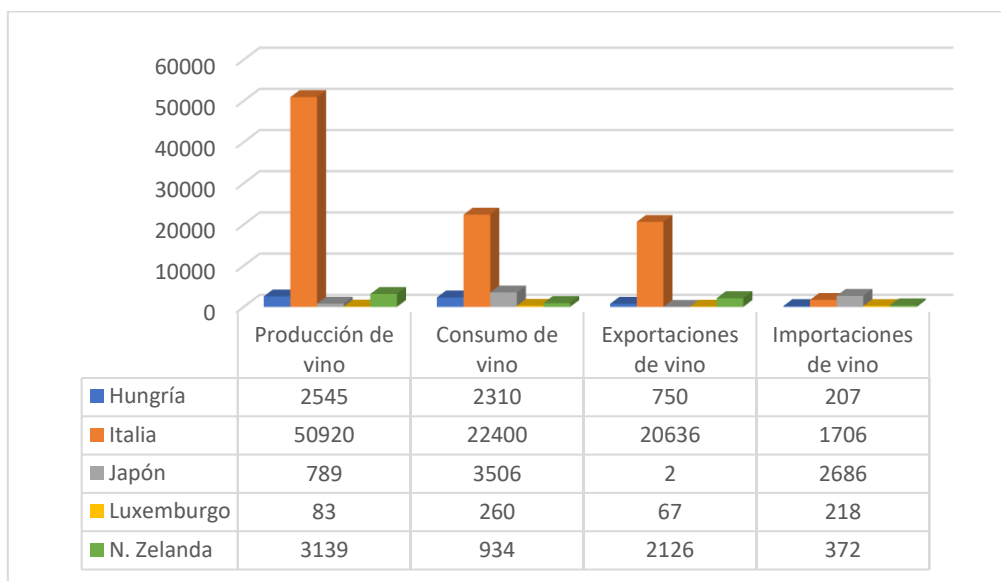


Figura 17. Producción, consumo, exportaciones e importaciones de vino por países (2016)⁶

Fuente: OIV. Elaboración propia

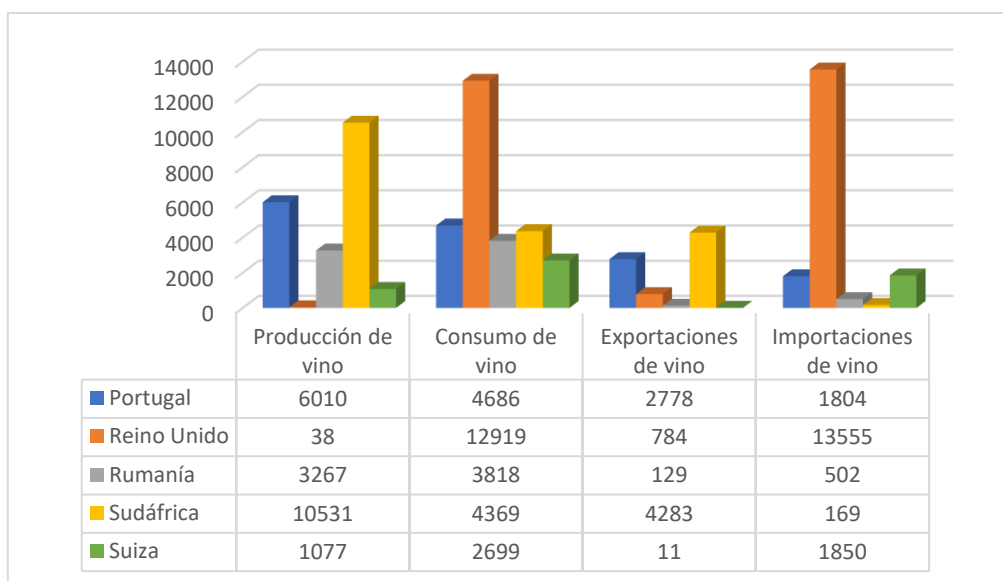


Figura 18. Producción, consumo, exportaciones e importaciones de vino por países (2016)⁷

Fuente: OIV. Elaboración propia

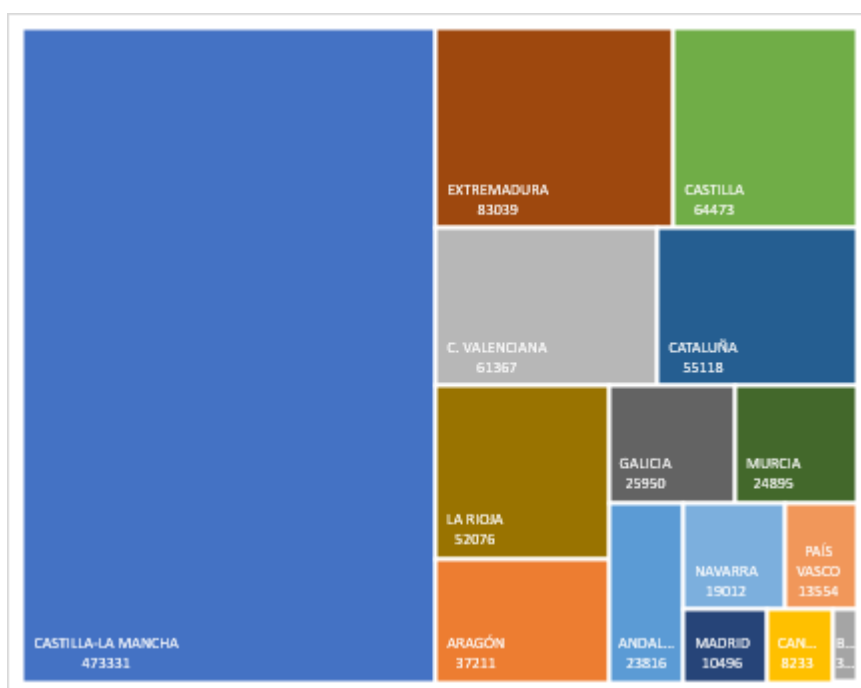


Figura 19. Superficie de viñedo en hectáreas por comunidades autónomas (año 2016)⁸

Fuente: Estimación de superficies de viñedo de uva para transformación en España (OEMV, 2016) - Encuesta sobre superficies y rendimientos de cultivos de España (Esysrce, MAPAMA 2016). Elaboración propia

3-7 Todos los vinos, incluyendo los espumosos y especiales, pero no los zumos y mostos. Valores en 1000 hL

8 Superficies de viñedo de uva para transformación.

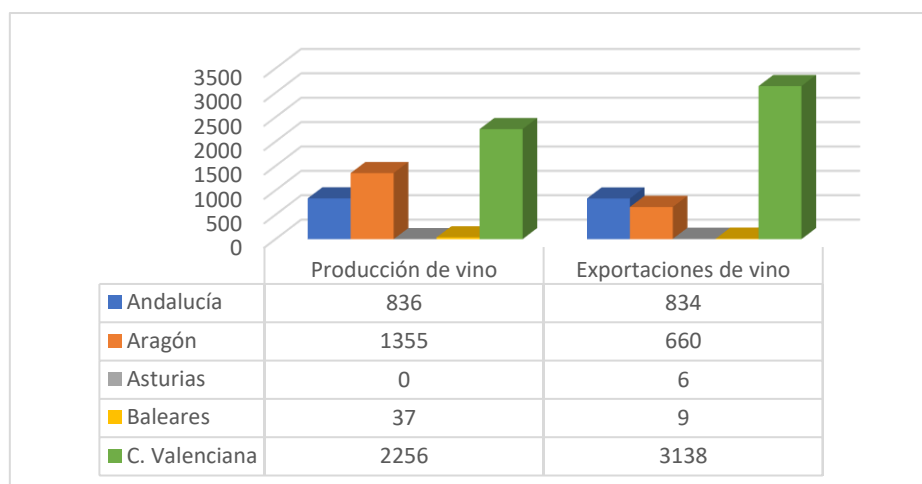


Figura 20. Producción y exportaciones de vino por comunidades autónomas (2016)⁹

Fuente: MAPAMA (producción) y OEMV (exportaciones). Elaboración propia

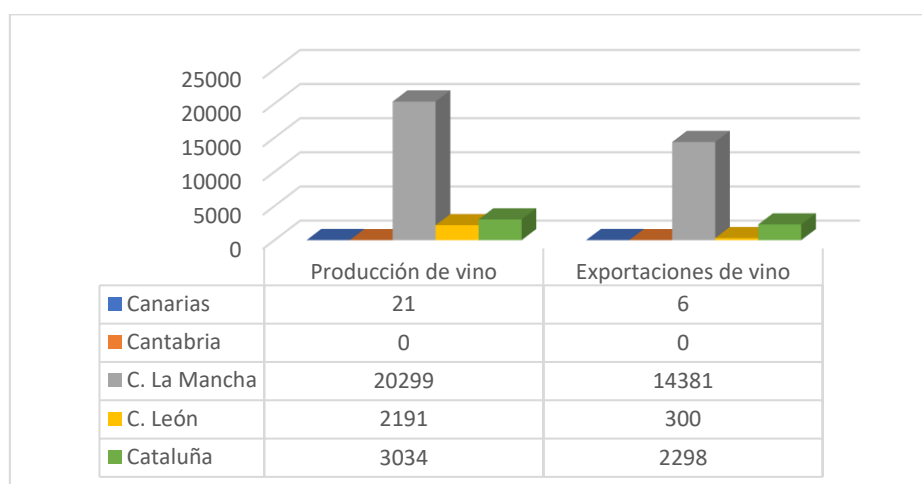


Figura 21. Producción y exportaciones de vino por comunidades autónomas (2016)¹⁰

Fuente: MAPAMA (producción) y OEMV (exportaciones). Elaboración propia

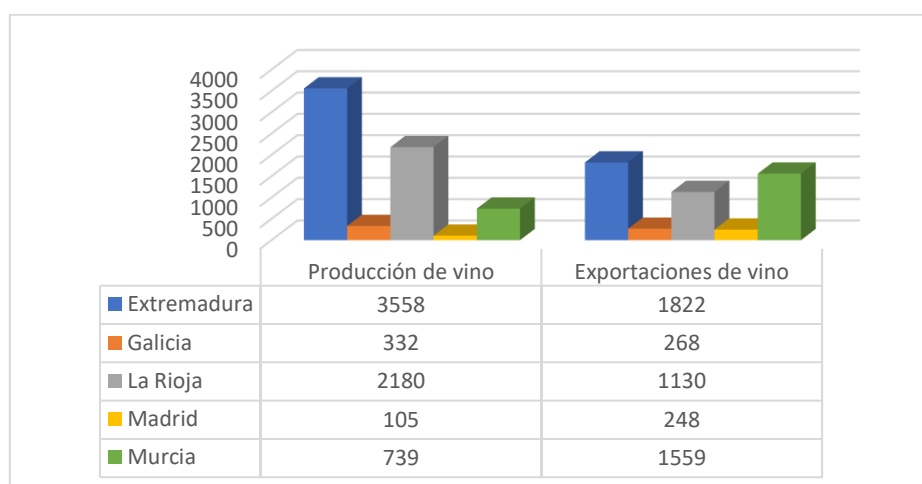


Figura 22. Producción y exportaciones de vino por comunidades autónomas (2016)¹¹

Fuente: MAPAMA (producción) y OEMV (exportaciones). Elaboración propia

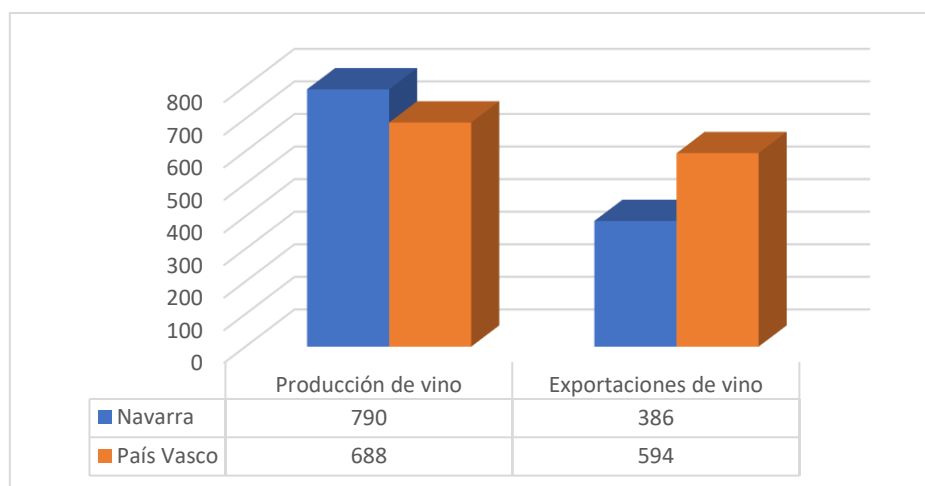


Figura 23. Producción y exportaciones de vino por comunidades autónomas (2016)¹²

Fuente: MAPAMA (producción) y OEMV (exportaciones). Elaboración propia

9-12

Valores 0 son valores comprendidos < 1000 hL. Producción: vino blanco, tinto y rosado. Exportaciones: incluye vino, mosto, y vinagre.

Valores en 1000 Hl